

⑬ BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES  
PATENTAMT

⑫ Offenlegungsschrift  
⑩ DE 196 54 737 A 1

⑤ Int. Cl.®:  
H 01 L 21/31  
H 01 L 21/489

⑳ Aktenzeichen: 196 54 737.7  
㉔ Anmeldetag: 30. 12. 96  
㉕ Offenlegungstag: 3. 7. 97

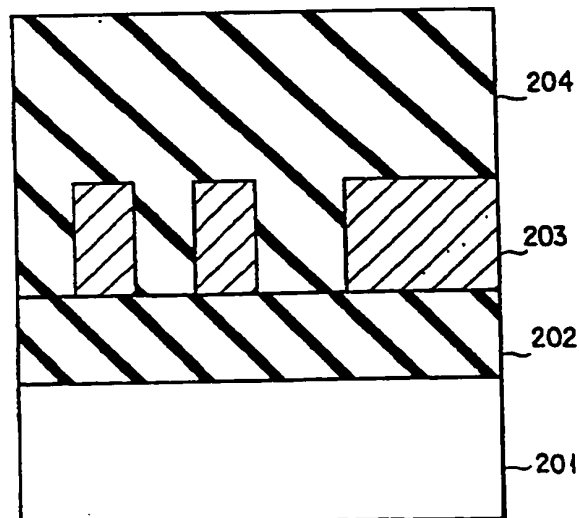
③ Unionspriorität:  
28.12.95 JP 7-342894 25.03.96 JP 8-068830  
㉚ Anmelder:  
Kabushiki Kaisha Toshiba, Kawasaki, Kanagawa, JP  
㉛ Vertreter:  
HOFFMANN . EITLE, 81925 München

㉜ Erfinder:  
Itoh, Hitoshi, Kunitachi, Tokio/Tokyo, JP; Nara,  
Akiko, Yokohama, JP; Nagamine, Makoto,  
Yokohama, JP

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

⑤④ Halbleitervorrichtung und Verfahren zu ihrer Herstellung

⑤⑦ Diese Erfindung betrifft eine Halbleitervorrichtung, umfassend ein Substrat (201) und zumindest einen Zwischenschicht-Isolationsfilm (204) oder einen Passivierungsisolationsfilm, die jeweils auf dem Substrat (201) gebildet sind und Silicium, Sauerstoff, Kohlenstoff und Wasserstoff enthalten, wobei der Kohlenstoff-Gehalt höher ist als der Silicium-Gehalt. Der Isolationsfilm hat eine Dielektrizitätskonstante von 1,8 bis 3,2 und ist bei Raumtemperatur viskos, wobei er eine Viskosität von 100 bis 300000 cps bei Raumtemperatur hat.



DE 196 54 737 A 1

DE 196 54 737 A 1

Diese Erfindung betrifft eine Halbleitervorrichtung und ein Verfahren zu deren Herstellung, insbesondere betrifft diese Erfindung einen Isolierfilm wie einen Zwischenschicht-Isolierfilm oder einen Schutz-Isolierfilm (einen Passivierungsfilm) einer Halbleitervorrichtung.

Seit einiger Zeit wird eine Schaltung mit hohem Integrationsgrad (LSI), umfassend eine Schaltung, die sich aus einer großen Anzahl von Transistoren und Widerständen zusammensetzt und auf einem einzelnen Chip gebildet ist, in einem kritischen Bereich einer Computer- oder Telekommunikationsanlage in großem Ausmaß verwendet. Daher kann gesagt werden, daß die Gesamtleistung dieser Anlagen stark durch die Leistung einer einzelnen LSI-Einheit beeinflußt wird.

Die Verbesserung der Leistung der LSI-Einheit kann durch Erhöhen des Integrationsgrades, d. h. durch die Miniaturisierung eines jeden Elementes in der LSI-Einheit erzielt werden. Jedoch gibt es verschiedene Probleme bei dem Herstellungsverfahren für die Miniaturisierung.

Wenn z. B. eine Al-Legierungsleitung als Beispiel genommen wird, gibt es einen deutlichen Fortschritt bei der Miniaturisierung der Linienbreite der Leitung und dem Zwischenraum zwischen den Leitungen. Im Hinblick auf die Dicke der Leitung wurde jedoch bei der Verdünnung der Leitung nur ein moderater Fortschritt erzielt. Wenn ein Siliciumdioxid-Film gebildet wird, um eine Al-Legierungsleitung zu bedecken, kann daher die Rille zwischen den Leitungen nicht vollständig mit dem Siliciumdioxid-Film gefüllt werden, wodurch in dem Isolationsfilm Löcher zurückgelassen werden. Diese Löcher können einen Rest an  $H_2O$  in dem Isolationsfilm verursachen, was wiederum die Korrosion der Al-Legierungsleitung verursacht, da dieses restliche  $H_2O$  von dem Isolationsfilm zu der Al-Legierungsleitung gelangt.

Der konventionelle Siliciumoxid-Film beinhaltet ebenfalls das Problem, daß aufgrund der inhärenten Spannung des Filmes oder einer großen thermischen Spannung des Filmes das Phänomen der thermischen Migration induziert wird, wodurch eine Abschaltung der Al-Legierungsleitung verursacht wird.

Als Verfahren zum Verbergen einer feinen Rille zwischen den Leitungen mit einem Isolationsmaterial unter Vermeidung der Bildung von Löchern ist ein Verfahren der Beschichtung eines Spinn-auf-Glas (spin-on-glass, SOG) und dessen thermische Härtung bekannt.

Bei diesem Verfahren muß das SOG eine niedrige Viskosität aufweisen, um eine feine Rille mit dem SOG ausreichend zu füllen. Jedoch beinhaltet die Verwendung von SOG mit einer niedrigen Viskosität die Probleme, daß es dann, wenn es thermisch gehärtet wird, eine große volumetrische Schrumpfung entfaltet, wodurch die Erzeugung von Rissen in dem SOG verursacht wird, und daß es schwierig ist, das Wasser davon ausreichend zu entfernen. Daher bleibt das Problem der Korrosion einer Al-Legierungsleitung in den anschließenden Schritten bei diesem Verfahren ungelöst.

Um auf der anderen Seite eine Halbleitervorrichtung der nächsten Generation zu erhalten, die eine höhere Arbeitsgeschwindigkeit entfaltet, muß der Zwischenschichtisolierfilm zum Isolieren von Al-Legierungsleitungen voneinander eine niedrigere dielektrische Konstante aufweisen als der Zwischenschicht-Isolierfilm, der gegenwärtig verwendet wird. Um dieses Erfordernis zu erfüllen, ist die Verwendung eines Siliciumdioxid-Filmes, dem Fluor zugegeben ist (F-haltiger Siliciumdiox-

id-Film), vielversprechend.

Wenn die Konzentration an Fluor zur Erniedrigung der Dielektrizitätskonstante des Filmes erhöht wird, wird jedoch die Hygroskopizität des Filmes vergrößert, wodurch das Problem resultiert, daß Wasser von dem F-haltigen Siliciumdioxid-Film während eines Herstellungsverfahrens freigesetzt werden kann, wodurch die Eigenschaften davon als Zwischenschicht-Isolierfilm verschlechtert werden oder die Korrosion der Al-Legierungsleitungen ermöglicht wird.

Wenn ein Siliciumdioxid-Film als Zwischenschicht-Isolierfilm verwendet wird, ist es, wie oben erläutert, schwierig, eine feine Rille, die lateral zwischen den Leitungen vorgesehen ist, zufriedenstellend zu füllen, ohne daß die Bildung von Löchern verursacht wird, da die Form des Siliciumdioxid-Filmes, der darin verborgen ist, Mängel aufweist. Daher verbleibt Wasser in dem Zwischenschicht-Isolierfilm, wodurch die Korrosion der Leitungen verursacht wird.

Um diese Probleme zu lösen, wurde ein Verfahren zum Füllen einer feinen Rille zwischen den Leitungen mit einem SOG mit niedriger Viskosität und mit anschließender thermischer Härtung vorgeschlagen, wie oben erwähnt. Jedoch weist die Verwendung von SOG mit einer Viskosität die Probleme auf, daß es bei einer thermischen Härtung eine große volumetrische Schrumpfung entfaltet, wodurch die Erzeugung von Rissen in dem SOG induziert wird, und außerdem ist es schwierig, das Wasser davon ausreichend zu entfernen. Daher wird das Problem der Korrosion einer Leitung in den anschließenden Schritten durch dieses Verfahren ebenfalls nicht gelöst.

Auf der anderen Seite wird die Verwendung eines F-haltigen Siliciumdioxid-Filmes als Zwischenschicht-Isolationsmaterial für die Herstellung einer Halbleitervorrichtung der nächsten Generation, die eine höhere Arbeitsgeschwindigkeit aufweist, als vielversprechend angesehen. Wenn jedoch die Fluor-Konzentration zur Erniedrigung der Dielektrizitätskonstante des Filmes erhöht wird, wird die Hygroskopizität des Filmes gefördert, wodurch das Problem verursacht wird, daß Wasser von dem F-haltigen Siliciumdioxid-Film während des Herstellungsverfahrens freigesetzt werden kann, wodurch die Eigenschaften davon als Zwischenschicht-Isolierfilm verschlechtert werden oder die Korrosion der Al-Legierungsleitung erzeugt wird.

Demgemäß liegt ein Ziel dieser Erfindung darin, ein Halbleitervorrichtung anzugeben, die mit einem Isolierfilm versehen ist, der eine feine Rille effektiv verbergen kann.

Ein anderes Ziel dieser Erfindung liegt darin, ein Verfahren zur Herstellung einer Halbleitervorrichtung anzugeben, die mit einem Isolierfilm versehen ist, der zum Verbergen einer feinen Rille wirksam ist.

Ein weiteres Ziel dieser Erfindung liegt darin, eine Halbleitervorrichtung anzugeben, die mit einem Isolierfilm versehen ist, der zur Verwendung zumindest als Zwischenschicht-Isolierfilm oder Passivierungsschicht geeignet ist, die bezüglich der Form im verborgenen Zustand ausgezeichnet sind und eine niedrigere Dielektrizitätskonstante und Hygroskopizität aufweisen als die konventionellen Isolationsfilme.

Ein weiteres Ziel dieser Erfindung liegt darin, eine Halbleitervorrichtung anzugeben, die mit einem Isolierfilm versehen ist, der zur Verwendung als Zwischenschicht-Isolierfilm geeignet ist, der bezüglich der Form im verborgenen Zustand ausgezeichnet ist und eine niedrigere Dielektrizitätskonstante und thermische

Spannung aufweist als der konventionelle Isolierfilm.

Ein weiteres Ziel dieser Erfindung liegt darin, eine Halbleitervorrichtung anzugeben, die mit einem Isolierfilm versehen ist, der zur Verwendung als Zwischenschicht-Isolierfilm geeignet ist, der bezüglich der Form im verborgenen Zustand (hohe Stufen-Abdeckung) ausgezeichnet ist und kaum einen nachteiligen Einfluß auf einen anschließenden Schritt (z. B. einen Schritt der Bildung eines Kontaktloches oder einen Schritt der Bildung einer Leitung) im Vergleich zu dem konventionellen Isolierfilm gibt.

Ein weiteres Ziel dieser Erfindung liegt darin, ein Verfahren zur Herstellung einer Halbleitervorrichtung anzugeben, die die oben erwähnten ausgezeichneten Merkmale aufweist.

Erfindungsgemäß wird eine Halbleitervorrichtung angegeben, umfassend: ein Substrat und zumindest einen Zwischenschicht-Isolierfilm oder einen Passivierungsfilm, der jeweils auf dem Substrat gebildet ist und Silicium, Sauerstoff, Kohlenstoff und Wasserstoff enthält, wobei der Gehalt des Kohlenstoffes nicht geringer ist als der Gehalt des Siliciums.

Erfindungsgemäß wird weiterhin eine Halbleitervorrichtung zur Verfügung gestellt, umfassend: ein Substrat und zumindest einen Zwischenschicht-Isolierfilm oder einen Passivierungsfilm, wobei jeder auf dem Substrat gebildet ist und Silicium, Sauerstoff, Kohlenstoff und Wasserstoff enthält und bei Raumtemperatur viskos ist, wobei bei Raumtemperatur eine Viskosität von 100 cps bis 300 000 cps entfaltet wird.

Erfindungsgemäß wird weiterhin eine Halbleitervorrichtung zur Verfügung gestellt, umfassend ein Halbleitersubstrat, das ein Element trägt; einen ersten Isolierfilm, der auf dem Halbleitersubstrat gebildet ist, eine Vielzahl von Leitungen, wobei zumindest eine der Leitungen mit dem Element über ein Kontaktloch elektrisch verbunden ist, einen zweiten Isolierfilm, der auf den Leitungen und dem ersten Isolierfilm gebildet ist, wo die Leitungen nicht gebildet sind, und der Silicium, Sauerstoff, Kohlenstoff und Wasserstoff enthält, wobei der Gehalt des Kohlenstoffes nicht weniger ist als der Gehalt des Siliciums, und einen dritten Isolierfilm, der auf dem zweiten Isolierfilm gebildet ist und aus einem Material hergestellt ist, das sich von dem Material unterscheidet, das den zweiten Isolierfilm ausmacht.

Erfindungsgemäß wird weiterhin eine Halbleitervorrichtung zur Verfügung gestellt, umfassend ein Halbleitersubstrat, einen ersten leitenden Film, der auf dem Halbleitersubstrat gebildet ist, einen Isolierfilm, der mit einem Kontaktloch versehen ist und so gebildet ist, daß der erste leitende Film bedeckt wird, und einen zweiten leitenden Film, der auf dem Isolierfilm derart gebildet ist, daß er mit dem ersten leitenden Film über das Kontaktloch elektrisch kontaktiert ist, worin ein Bereich des Isolierfilms, der in der Nähe einer Grenzfläche davon mit dem zweiten leitenden Film angeordnet ist, mit Ausnahme eines Bereiches, der an dem Kontaktloch angeordnet ist, so konstruiert ist, daß er eine Viskosität von 10 000 cp oder mehr hat, und wobei der Rest des Isolierfilmes, mit der Ausnahme des Bereiches, der in der Nähe einer Grenzfläche davon mit dem zweiten leitenden Film angeordnet ist, so konstruiert ist, daß er eine Viskosität von weniger als 10 000 cp hat.

Erfindungsgemäß wird weiterhin ein Verfahren zur Herstellung einer Halbleitervorrichtung angegeben, umfassend die Schritte: Bildung eines ersten Isolierfilmes auf einem Halbleitersubstrat, das ein Element darauf trägt; Bildung eines Kontaktloches in dem ersten

Isolierfilm; Bildung einer Vielzahl von Leitungen auf dem ersten Isolierfilm, wobei zumindest eine der Vielzahl von Leitungen elektrisch mit dem Element durch das Kontaktloch kontaktiert ist; Bildung eines zweiten Isolierfilmes auf dem ersten Isolierfilm, wo die Leitungen nicht gebildet sind, derart, daß ein Raum zwischen den Leitungen verborgen wird, wobei der zweite Isolierfilm Silicium, Sauerstoff, Kohlenstoff und Wasserstoff umfaßt, wobei der Gehalt des Kohlenstoffes nicht weniger ist als der Gehalt des Siliciums; und Bildung eines dritten Isolierfilmes auf der Leitung und auf dem zweiten Isolierfilm, wobei der dritte Isolierfilm aus einem Material hergestellt ist, das sich von dem Material unterscheidet, das den zweiten Isolierfilm ausmacht.

Erfindungsgemäß wird weiterhin ein Verfahren zur Herstellung einer Halbleitervorrichtung angegeben, umfassend die Schritte: Bildung eines ersten leitenden Filmes auf einem Substrat; Bildung eines Isolierfilmes mit einer Viskosität von weniger als 10 000 cp, wodurch der erste leitende Film bedeckt wird; Durchführung einer Viskositätserhöhungsbehandlung, wodurch die Viskosität einer Oberflächenschicht des Isolierfilmes auf nicht weniger als 10 000 cp erhöht wird; und Bildung eines zweiten leitenden Filmes auf dem Isolierfilm in der Art, daß er mit dem ersten leitenden Film elektrisch in Kontakt steht.

Erfindungsgemäß wird weiterhin ein Verfahren zur Herstellung einer Halbleitervorrichtung angegeben, umfassend die Schritte: Bildung eines ersten leitenden Filmes auf einem Substrat; Bildung eines Isolierfilmes mit einer Viskosität von weniger als 10 000 cp, wodurch der erste leitende Film bedeckt wird; Bildung eines zweiten Isolierfilmes mit einer Viskosität von nicht weniger als 10 000 cp auf dem ersten Isolierfilm; und Bildung eines zweiten leitenden Filmes auf dem zweiten Isolierfilm in einer solchen Weise, daß er mit dem ersten leitenden Film elektrisch in Kontakt steht.

Zusätzliche Ziele und Vorteile dieser Erfindung werden aufgrund der nachfolgenden Beschreibung erläutert und werden zum Teil aufgrund der Beschreibung offenbar oder können durch die Durchführung dieser Erfindung erfaßt werden. Diese Ziele und Vorteile der Erfindung können durch die Merkmale und Kombinationen, die insbesondere in den beigefügten Patentansprüchen angegeben sind, realisiert und erhalten werden.

Die beigefügten Zeichnungen, die einen Teil der Beschreibung ausmachen und darin enthalten sind, erläutern gegenwärtig bevorzugte Ausführungsbeispiele dieser Erfindung und dienen zusammen mit der allgemeinen Beschreibung, die oben angegeben ist, und der nachfolgend angegebenen detaillierten Beschreibung der bevorzugten Ausführungsbeispiele dazu, die Prinzipien dieser Erfindung zu erklären.

Fig. 1 ist eine schematische Ansicht, die die Struktur einer Halbleitervorrichtung zeigt, die gemäß einem ersten Beispiel dieser Erfindung verwendet wird;

Fig. 2 ist eine schematische Ansicht, die die Struktur einer Stickstoffgas-Zuführanlage zeigt;

Fig. 3A und 3B zeigen jeweils einen Schnitt durch eine Halbleitervorrichtung, die das Herstellungsverfahren entsprechend einem zweiten Beispiel dieser Erfindung erläutert;

Fig. 4 ist eine schematische Ansicht, die die Struktur einer Halbleitervorrichtung zeigt, die in einem dritten Beispiel dieser Erfindung verwendet wird;

Fig. 5A bis 5C zeigen jeweils einen Schnitt durch eine Halbleitervorrichtung, wobei das Herstellungsverfahren entsprechend einem dritten Beispiel dieser Erfindung

dung erläutert wird;

Fig. 6 ist ein Diagramm, das die Abhängigkeit der Filmdicke eines Isolationsfilmes von der Unterschicht erläutert;

Fig. 7A bis 7C zeigen jeweils einen Schnitt durch eine Halbleitervorrichtung, wobei der Herstellungsschritt entsprechend einem vierten Beispiel dieser Erfindung erläutert wird;

Fig. 8 ist ein Querschnitt durch eine Halbleitervorrichtung entsprechend einem fünften Beispiel dieser Erfindung;

Fig. 9 ist eine schematische Ansicht, die die Struktur einer Halbleitervorrichtung zeigt, die gemäß einem fünften Beispiel dieser Erfindung verwendet wird;

Fig. 10A bis 10C zeigen jeweils einen Querschnitt durch eine Halbleitervorrichtung, wobei der Herstellungsschritt entsprechend einem fünften Beispiel dieser Erfindung erläutert wird;

Fig. 11A zeigt einen Querschnitt durch eine Halbleitervorrichtung, wobei ein Verfahren zur Verhinderung der Deformation einer weichen Passivierungsschicht gemäß dieser Erfindung erläutert wird; und

Fig. 11B zeigt eine schematische Planansicht, wobei ein Verfahren zur Verhinderung der Deformation einer weichen Passivierungsschicht gemäß dieser Erfindung erläutert wird.

Eine Halbleitervorrichtung entsprechend einem ersten Ausführungsbeispiel dieser Erfindung ist durch die Verwendung eines Isolationsfilmes mit niedriger Viskosität als Zwischenschicht-Isolierfilm und/oder Schutzisolationsfilm (Passivierungsfilm) gekennzeichnet.

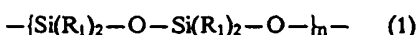
Dieser Isolierfilm umfaßt Silicium, Sauerstoff, Kohlenstoff und Wasserstoff, wobei der Gehalt an Kohlenstoff nicht weniger ist als der Gehalt an Silicium. Z.B. sollte das Atomverhältnis von Kohlenstoff zu Silicium in diesem Isolierfilm bevorzugt 1,0 bis 3,0, mehr bevorzugt 1,0 bis 2,0 sein. Wenn der Gehalt an Kohlenstoff höher ist als der Gehalt an Silicium, wird der Isolierfilm viskos.

Der erfindungsgemäße Isolierfilm entfaltet eine Viskosität von 100 bis 300 000 cps, mehr bevorzugt 1000 bis 10 000 cps bei Raumtemperatur. Raumtemperatur bedeutet in diesem Falle eine Temperatur von etwa 15 bis 30°C.

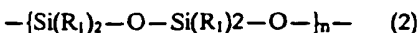
Wenn die Viskosität des Isolierfilmes weniger ist als 100 cps, kann der Isolierfilm nicht für eine Vielschicht-zwischenschaltung verwendet werden. Wenn auf der anderen Seite die Viskosität des Isolierfilmes 300 000 cps übersteigt, können Löcher in dem Isolierfilm gebildet werden, wenn er in einer feinen Rille verborgen ist.

Der erfindungsgemäße Isolierfilm sollte bevorzugt eine Dielektrizitätskonstante von 1,8 bis 3,2, mehr bevorzugt 1,0 bis 2,5 haben.

Spezifische Beispiele des Isolierfilmes entsprechend dieser Erfindung sind solche, die eine Rückgratkette aufweisen, ausgewählt aus der Gruppe, bestehend aus den folgenden Formeln (1) bis (5):



worin  $R_1$   $C_nH_{2n+1}$  ist (worin  $n$  eine positive ganze Zahl bedeutet);



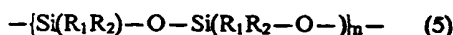
worin  $R_1$   $-O-C_nH_{2n+1}$  ist (worin  $n$  eine positive ganze Zahl ist);



worin  $R_1$   $C_nH_{2n+1}$  ist (worin  $n$  eine positive ganze Zahl ist), und  $R_2$   $C_mH_{2m+1}$  ist (worin  $m$  eine positive ganze Zahl ist), worin  $n$  sich von  $m$  unterscheidet;



worin  $R_1$   $-O-C_nH_{2n+1}$  ist (worin  $n$  eine positive ganze Zahl ist) und  $R_2$  ist  $-O-C_mH_{2m+1}$  ist (worin  $m$  eine positive ganze Zahl bedeutet), worin  $n$  sich von  $m$  unterscheidet; und



worin  $R_1$   $-O-C_nH_{2n+1}$  oder  $C_nH_{2n+1}$  ist (worin  $n$  eine positive ganze Zahl ist);  $R_2$   $-O-C_mH_{2m+1}$  oder  $C_mH_{2m+1}$  ist (worin  $m$  eine positive ganze Zahl ist); wobei sich  $n$  von  $m$  unterscheidet; und wobei zumindest eines von  $R_1$  und  $R_2$  über  $-O-$  mit  $R_1$  oder  $R_2$  verbunden ist, das zu der anderen Rückgratkette gehört.

Wenn der Isolationsfilm entsprechend diesem Beispiel über einer großen Fläche gebildet ist, kann eine Schaltsäule, die aus einem metallischen Material oder einem Isolationsmaterial besteht, das von dem Material verschieden ist, das den Isolationsfilm ausmacht, die gegenüber dem Fluß und der Deformation des Isolationsfilmes widerstandsfähig ist, in dem Isolationsfilm gebildet werden. Durch das Vorsehen einer solchen Schaltsäule kann die Deformation des Isolationsfilmes unterdrückt werden.

Es ist ebenfalls möglich, die Deformation des Isolationsfilmes zu unterdrücken, selbst wenn eine Spannung auf dem Isolationsfilm auferlegt wird, indem die Viskosität des Oberflächenbereiches des Isolationsfilmes gemäß diesem Ausführungsbeispiel höher gemacht wird als die des inneren Bereiches der Isolationsfilmes.

Der Isolationsfilm entsprechend dem ersten Ausführungsbeispiel dieser Erfindung hat eine ausgezeichnete Eigenschaft, weil er inert ist und nicht in der Lage ist, Wasser bei einer Temperatur von nicht mehr als 650°C freizusetzen. Der Isolationsfilm entsprechend dem ersten Ausführungsbeispiel kann durch ein CVD-Verfahren gebildet werden. Dieses CVD-Verfahren sollte bevorzugt so durchgeführt werden, daß die Temperatur des Substrates auf eine Temperatur eingestellt wird, die höher ist als der Schmelzpunkt und niedriger als der Siedepunkt eines Ausgangsmaterialgases oder eines Zwischenproduktes, das durch Reaktion des Ausgangsmaterials in einer Dampfphase gebildet werden kann.

Es wurde festgestellt, daß dann, wenn in dem Isolationsfilm entsprechend diesem Ausführungsbeispiel, umfassend Silicium, Sauerstoff, Kohlenstoff und Wasserstoff, der Gehalt an Kohlenstoff höher ist als der Gehalt an Silicium, der Isolationsfilm bei Raumtemperatur viskos wird (Viskosität von 100 bis 300 000 cps), so daß die Form des Isolationsfilmes, wenn er in einer feinen Rille verborgen ist, verbessert werden kann.

Z.B. wurde festgestellt, daß der Isolationsfilm entsprechend diesem Ausführungsbeispiel in einer Rille mit einem hohen Längenverhältnis von mehr als 1 ohne Erzeugung der üblichen Löcher darin verborgen werden kann. Der Isolationsfilm mit einer solchen Viskosität, der Silicium, Sauerstoff, Kohlenstoff und Wasserstoff enthält, hat ebenfalls eine niedrige Dielektrizitätskonstante und Hygroskopizität. Z.B. kann die Dielektrizitätskonstante des Isolationsfilmes auf einen Bereich von 1,8 bis 3,2 eingestellt werden. Es wurde ebenfalls festge-

stellt, daß der Isolationsfilm entsprechend diesem Ausführungsbeispiel thermisch stabil ist und nicht in der Lage ist, Wasser bei einer Temperatur von nicht mehr als 650°C freizusetzen.

Bei der Halbleitervorrichtung dieses Ausführungsbeispiels, bei dem der oben erwähnte Isolationsfilm als Zwischenschicht-Isolationsfilm oder Passivierungsfilm verwendet wird, ist es möglich, einen Zwischenschicht-Isolationsfilm oder einen Passivierungsfilm zu schaffen, der ausgezeichnet ist bezüglich der verborgenen Form und eine niedrige Dielektrizitätskonstante und Hygroskopizität aufweist. Da der Isolationsfilm entsprechend diesem Ausführungsbeispiel sehr viskos ist, kann die thermische Spannung minimiert werden.

Die Halbleitervorrichtung entsprechend dem zweiten Ausführungsbeispiel dieser Erfindung ist dadurch gekennzeichnet, daß sie umfaßt: ein Halbleitersubstrat, das ein Element trägt; einen ersten Isolationsfilm, der auf dem Halbleitersubstrat gebildet ist; eine Vielzahl von Leitungen, wobei zumindest eine der Leitungen mit dem Element durch ein Kontaktloch elektrisch verbunden ist; einen zweiten Isolationsfilm, der auf den Leitungen und dem ersten Isolationsfilm, wo die Leitungen nicht gebildet sind, gebildet ist und Silicium, Sauerstoff, Kohlenstoff und Wasserstoff enthält, wobei der Kohlenstoff-Gehalt höher ist als der Silicium-Gehalt; und einen dritten Isolationsfilm, der auf dem zweiten Isolationsfilm gebildet ist und aus einem Material hergestellt ist, das sich von dem Material unterscheidet, das den zweiten Isolationsfilm ausmacht.

Die Halbleitervorrichtung entsprechend dem zweiten Ausführungsbeispiel dieser Erfindung kann durch ein Verfahren hergestellt werden, umfassend die Schritte: Bildung eines ersten Isolationsfilmes auf einem Halbleitersubstrat, das ein Element darauf trägt; Bildung eines Kontaktloches in dem ersten Isolationsfilm; Bildung einer Vielzahl von Leitungen in dem ersten Isolationsfilm, wobei zumindest eine der Vielzahl von Leitungen elektrisch durch das Kontaktloch mit dem Element verbunden ist; Bildung eines zweiten Isolationsfilmes auf dem ersten Isolationsfilm, wo die Leitungen nicht gebildet sind, in der Art, daß ein Raum zwischen den Leitungen verborgen wird, wobei der zweite Isolationsfilm Silicium, Sauerstoff, Kohlenstoff und Wasserstoff enthält, wobei der Kohlenstoff-Gehalt höher ist als der Silicium-Gehalt; und Bildung eines dritten Isolationsfilmes auf der Leitung und auf dem zweiten Isolationsfilm, wobei der dritte Isolationsfilm aus einem Material hergestellt ist, das sich von dem Material unterscheidet, das den zweiten Isolationsfilm ausmacht.

Der zweite Isolationsfilm entsprechend diesem Ausführungsbeispiel kann mit Hilfe eines CVD-Verfahrens gebildet werden, wobei als Ausgangsmaterialien ein organisches Silan und Sauerstoff im angeregten Zustand verwendet und eine Substrat-Temperatur auf -70 bis 50°C eingestellt wird.

Der Ausdruck "ein Material, das sich von dem Material unterscheidet, das den zweiten Isolationsfilm bildet" bedeutet Fälle, bei denen die Elemente, die das Material ausmachen, gleich sind, sich aber bezüglich der Zusammensetzung unterscheiden, ebenso Fälle, bei denen sich die Elemente voneinander unterscheiden, die das Material ausmachen.

Die Filmdicke des dritten Isolationsfilmes, der auf dem zweiten Isolationsfilm angeordnet ist, sollte vorzugsweise dünner sein als die Filmdicke des dritten Isolationsfilmes, der auf einer oberen Fläche des ersten Isolationsfilmes gebildet ist, der zwischen den Leitungen

vorgesehen ist.

Der erste und der dritte Isolationsfilm sollte bevorzugt ein Siliciumdioxid-Film sein.

Da der Isolationsfilm entsprechend dem ersten Ausführungsbeispiel dieser Erfindung als zweiter Isolationsfilm (ein Zwischenschicht-Isolationsfilm) in der Halbleitervorrichtung gemäß diesem Ausführungsbeispiel verwendet wird, ist es möglich, eine Halbleitervorrichtung mit einem zweiten Isolationsfilm (einem Zwischenschicht-Isolationsfilm) zu schaffen, der bezüglich der verborgenen Form ausgezeichnet ist und eine niedrige Dielektrizitätskonstante und Hygroskopizität aufweist, und ein Verfahren zur Herstellung einer solchen Halbleitervorrichtung anzugeben.

Wenn der oben erwähnte zweite Isolationsfilm (ein Zwischenschicht-Isolationsfilm) auf einer Leitung wie einer Al-Leitung gebildet wird, kann verhindert werden, daß die Leitung mit einer großen thermischen Spannung versehen wird, wodurch die Erzeugung einer Spannungsmigration effektiv verhindert wird.

Da der dritte Isolationsfilm, der aus einem anderen Material hergestellt wird, als es für den zweiten Isolationsfilm verwendet wird, auf dem zweiten Isolationsfilm gebildet ist, kann irgendeine Unannehmlichkeit, die von dem zweiten Isolationsfilm resultiert, verhindert werden. Wenn z. B. das gleiche Material wie bei dem konventionellen Zwischenschicht-Isolationsfilm als dritter Isolationsfilm verwendet wird, kann eine obere Leitung auf dem dritten Isolationsfilm durch das gleiche Verfahren wie bei dem konventionellen Verfahren gebildet werden, ohne daß die Eigenschaft des zweiten Isolationsfilmes berücksichtigt wird.

Die Halbleitervorrichtung entsprechend dem dritten Ausführungsbeispiel dieser Erfindung ist gekennzeichnet durch: einen ersten leitenden Film; einen Isolationsfilm, der mit einem Kontaktloch versehen ist, der so gebildet ist, daß der erste leitende Film bedeckt wird; und einen zweiten leitenden Film, der auf dem Isolationsfilm derart gebildet ist, daß er mit dem ersten leitenden Film durch das Kontaktloch elektrisch kontaktiert ist; worin ein Bereich des Isolationsfilmes, der in der Nähe einer Grenzfläche davon mit dem zweiten leiten Film angeordnet ist, mit Ausnahme eines Bereiches, der an dem Kontaktloch vorgesehen ist, so konstruiert ist, daß er eine Viskosität von 10 000 cp oder mehr aufweist, und wobei der Rest des Isolationsfilmes, mit Ausnahme des Bereiches, der in der Nähe einer Grenzfläche davon mit dem zweiten leitenden Film vorgesehen ist, so konstruiert ist, daß er eine Viskosität von weniger als 10 000 cp hat.

Die Halbleitervorrichtung entsprechend dem dritten Ausführungsbeispiel dieser Erfindung kann durch ein Verfahren hergestellt werden, umfassend die folgenden Schritte: Bildung eines ersten leitenden Filmes auf einem Substrat; Bildung eines Isolationsfilmes mit einer Viskosität von weniger als 10 000 cp, wodurch der erste leitende Film bedeckt wird; Durchführung einer Viskositätsbehandlung, wodurch die Viskosität einer Oberfläche des Isolationsfilmes auf nicht weniger als 10 000 cp erhöht wird; und Bildung eines zweiten leitenden Filmes auf dem Isolationsfilm in der Art, daß er mit dem ersten leitenden Film elektrisch in Kontakt steht. Die Halbleitervorrichtung entsprechend dem dritten Ausführungsbeispiel dieser Erfindung kann durch ein Verfahren hergestellt werden, umfassend die Schritte: Bildung eines ersten leitenden Filmes auf einem Substrat; Bildung eines Isolationsfilmes mit einer Viskosität von weniger als 10 000 cp, wodurch der erste leitende

Film bedeckt wird; Bildung eines zweiten Isolationsfilmes mit einer Viskosität von nicht weniger als 10 000 cp auf dem ersten Isolationsfilm; und Bildung eines zweiten leitenden Filmes auf dem zweiten Isolationsfilm in der Art, daß er mit dem ersten leitenden Film elektrisch in Kontakt steht.

Nachfolgend werden die mehr bevorzugten Merkmale des dritten Ausführungsbeispiels dieser Erfindung angegeben.

- (1) Ein Bereich des Isolationsfilmes, der in der Nähe einer Grenzfläche davon mit einem Bereich des zweiten leitenden Filmes, der an einer Seitenwand des Kontaktloches lokalisiert ist, angeordnet ist, ist so konstruiert, daß er eine Viskosität von 10 000 cp oder mehr aufweist.
- (2) Der Schritt der Erhöhung der Viskosität der Oberflächenschicht des Isolationsfilmes auf nicht weniger als 10 000 cp wird durchgeführt, indem der Isolationsfilm einem Plasma aus einem Gas ausgesetzt wird, umfassend zumindest ein Molekül, das Sauerstoffatome enthält.
- (3) Der Schritt der Erhöhung einer Viskosität einer Oberflächenschicht des Isolationsfilmes auf nicht weniger als 10 000 cp wird durchgeführt, indem der Isolationsfilm einem Gas ausgesetzt wird, das Sauerstoffradikale, Ozon oder Wasserstoffradikale enthält.
- (4) Der Schritt der Erhöhung einer Viskosität der Oberflächenschicht des Isolationsfilmes auf nicht weniger als 10 000 cp wird durch Bestrahlen des Isolationsfilmes mit einer Infrarot-Strahlenquelle mit einer Wellenlänge von 2,6 bis 3,5  $\mu\text{m}$  durchgeführt.
- (5) Der Schritt der Erhöhung einer Viskosität einer Oberflächenschicht eines Isolationsfilmes auf nicht weniger als 10 000 cp wird durch Bestrahlen des Isolationsfilmes mit einer Ultraviolett-Strahlenquelle mit einer Wellenlänge von 142 bis 308 nm durchgeführt.
- (6) Der Schritt der Erhöhung einer Viskosität einer Oberflächenschicht des Isolationsfilmes auf nicht weniger als 10 000 cp wird durch Aussetzen des Isolationsfilmes einer Mikrowelle in einer Atmosphäre aus einem Gas, umfassend zumindest ein sauerstoffatomhaltiges Molekül; einer Atmosphäre aus einem Inertgas oder einer Atmosphäre mit vermindertem Druck durchgeführt.
- (7) Der Schritt der Erhöhung einer Viskosität einer Oberflächenschicht des Isolationsfilmes auf nicht weniger als 10 000 cp wird durch Erwärmen des Substrates, das den Isolationsfilm darauf trägt, bei einer Erwärmungsrate von 10°C/s und durch Halten der Erwärmungstemperatur auf 450°C oder weniger durchgeführt.
- (8) Der Schritt der Erhöhung einer Viskosität einer Oberflächenschicht des Isolationsfilmes auf nicht weniger als 10 000 cp wird durch Erwärmen des Substrates, das den Isolationsfilm darauf trägt, bei einer Erwärmungsrate von 10°C/s durchgeführt, wodurch die Oberflächenschicht des Isolationsfilmes auf eine Temperatur im Bereich von 450°C bis 700°C erwärmt wird.
- (9) Eine Anlage, die in der Lage ist, kontinuierlich, ohne den Vakuumzustand zu verlassen, den Schritt der Bildung eines Isolationsfilmes mit einer Viskosität von weniger als 10 000 cp, zum Bedecken des ersten leitenden Filmes und den Schritt der Erhö-

hung der Viskosität einer Oberflächenschicht des Isolationsfilmes auf nicht weniger als 10 000 cp durchzuführen, wird verwendet.

(10) Die Anlage der oben erwähnten Ausführungsform (9) wird so konstruiert, daß der oben erwähnte Schritt der kontinuierlichen Durchführung ohne Brechen des Vakuumzustandes in demselben Vakuumbehälter durchgeführt werden kann.

(11) In dem oben erwähnten Ausführungsbeispiel (1) ist der verwendete Isolationsfilm einer, der durch ein CVD-Verfahren gebildet ist.

(12) Bei den oben erwähnten Ausführungsformen (2) bis (8) wird die Bildung des Isolationsfilmes durch ein CVD-Verfahren erreicht.

(13) Bei den oben erwähnten Ausführungen (9) und (10) wird die Bildung des Isolationsfilmes durch Verwendung einer CVD-Anlage erreicht.

(14) Bei der obigen Ausführungsform (1) ist ein Bereich des Isolationsfilmes, der in der Nähe einer Grenzfläche davon mit einem Bereich des zweiten Isolationsfilmes, der an einer Seitenwand des Kontaktloches lokalisiert ist, angeordnet ist, so konstruiert, daß die Gleichung erfüllt wird:  $d_{\text{max}} \leq 0,1 t_{\text{max}}$ , worin  $t_{\text{max}}$  eine maximale Filmdicke des Isolationsfilmes bedeutet und  $d_{\text{max}}$  eine maximale Entfernung von der Grenzfläche davon mit dem zweiten leitenden Film zu dem Bereich des Isolationsfilmes bedeutet, der in der Nähe der Zwischenfläche angeordnet ist.

(15) In der obigen Ausführungsform (1) ist ein Bereich des Isolationsfilmes, der in der Nähe einer Grenzfläche davon mit einem Bereich des zweiten leitenden Filmes, der an einer Seitenwand des Kontaktloches lokalisiert ist, angeordnet ist, so konstruiert, daß die folgende Gleichung erfüllt wird:  $10 \text{ nm} \leq d_{\text{max}} \leq 100 \text{ nm}$ , worin  $d_{\text{max}}$  eine maximale Entfernung von der Grenzfläche davon mit dem zweiten leitenden Film zu dem Bereich des Isolationsfilmes bedeutet, der in der Nähe der Grenzfläche angeordnet ist.

(16) In der oben erwähnten Ausführungsform (1) ist ein Bereich des Isolationsfilmes, der in der Nähe einer Grenzfläche davon mit einem Bereich des zweiten leitenden Filmes, der an einer Seitenwand des Kontaktloches lokalisiert ist, angeordnet ist, so konstruiert, daß die Gleichung erfüllt wird:  $d_{\text{max}} \leq 0,1 t_{\text{max}}$ , worin  $t_{\text{max}}$  eine maximale Filmdicke des Isolationsfilmes ist und  $d_{\text{max}}$  eine maximale Entfernung von der Seitenwand des Kontaktloches zu dem Isolationsfilm bedeutet.

(17) In dem oben erwähnten Ausführungsbeispiel (1) ist ein Bereich des Isolationsfilmes, der in der Nähe einer Grenzfläche davon mit einem Bereich des zweiten leitenden Filmes, der an einer Seitenwand des Kontaktloches lokalisiert ist, vorgesehen ist, so konstruiert, daß die Gleichung erfüllt wird:  $10 \text{ nm} \leq d_{\text{max}} \leq 100 \text{ nm}$ , worin  $d_{\text{max}}$  eine maximale Entfernung von der Seitenwand des Kontaktloches zu dem Isolationsfilm bedeutet.

(18) Bei den oben erwähnten Ausführungsformen (2) bis (8), (9) und (10) wird die Oberflächenschicht des Isolationsfilmes so konstruiert, daß die Gleichung erfüllt ist:  $d_{\text{max}} \leq 0,1 t_{\text{max}}$ , worin  $t_{\text{max}}$  eine maximale Filmdicke des Isolationsfilmes bedeutet und  $d_{\text{max}}$  eine maximale Entfernung von der Oberfläche des Isolationsfilmes zu der Oberflächenschicht des Isolationsfilmes bedeutet.

(19) Bei den obigen Ausführungsformen (2) bis (8),

(9) und (10) ist die Oberflächenschicht des Isolationsfilmes so konstruiert, daß die Gleichung erfüllt wird:  $10 \text{ nm} \leq d_{\text{max}} \leq 100 \text{ nm}$ , worin  $d_{\text{max}}$  eine maximale Entfernung von der Oberfläche des Isolationsfilmes zu der Oberflächenschicht des Isolationsfilmes bedeutet

(20) Als Anlage für die Herstellung der Halbleitervorrichtung, umfassend einen ersten leitenden Film, einen Isolationsfilm, der mit einem Kontaktloch versehen ist, der so gebildet ist, daß der erste leitende Film bedeckt wird, und einen zweiten leitenden Film, der auf dem Isolationsfilm derart gebildet ist, daß er mit dem ersten leitenden Film über das Kontaktloch elektrisch kontaktiert ist, wird eine Anlage verwendet, die in der Lage ist, kontinuierlich ohne Bruch des Vakuumzustandes den Schritt der Bildung eines ersten Isolationsfilmes mit einer Viskosität von weniger als 10 000 cp zum Bedecken des ersten leitenden Filmes und den Schritt der Bildung eines zweiten Isolationsfilmes mit einer Viskosität von nicht weniger als 10 000 cp durchzuführen.

(21) In dem oben erwähnten Ausführungsbeispiel (20) wird der oben erwähnte Schritt der kontinuierlichen Durchführung ohne Bruch des Vakuumzustandes in demselben Vakuumbehälter durchgeführt.

(22) Die Viskositätssteigerungsbehandlung wird vor und/oder nach dem Schritt der Bildung eines Kontaktloches zum elektrischen Verbinden des ersten leitenden Filmes mit dem zweiten leitenden Film durchgeführt.

Die Viskositätssteigerungsbehandlung sollte bevorzugt vor dem Schritt der Bildung eines Kontaktloches im Hinblick auf die Bildung eines Resistmusters mit einer ausgezeichneten Form und die Bildung eines Kontaktloches mit einer ausgezeichneten Form durchgeführt werden. Wenn die Viskositätssteigerungsbehandlung nach der Bildung des Kontaktloches durchgeführt wird, wird die Viskositätssteigerungsbehandlung ebenfalls an der Seitenwand des Kontaktloches bewirkt, so daß die Verschlechterung der Eigenschaft aufgrund der Aussetzung davon einem anschließendem Bedampfungspasma inhibiert werden kann.

Wie oben erläutert, hat bei der Halbleitervorrichtung entsprechend dem dritten Ausführungsbeispiel dieser Erfindung nicht der gesamte Isolationsfilm eine niedrige Viskosität, sondern nur ein Teil des Isolationsfilmes, auf dem der obere zweite leitende Film gebildet wird, hat eine erhöhte Viskosität, so daß es möglich ist, einen Isolationsfilm zu erhalten, der bezüglich der verborgenen Form in einer Rille ausgezeichnet ist im Vergleich zu dem konventionellem Isolationsfilm, und gleichzeitig irgendwelche schlechten Einflüsse auf die anschließenden Verfahren zu minimieren (z. B. bei der Bildung eines Kontaktloches oder bei der Bildung einer Leitung).

Es ist bekannt, daß es möglich ist, einen Isolationsfilm mit niedriger Viskosität, niedriger Dielektrizitätskonstante und niedriger Hygroskopizität (der einem Isolationsfilm mit einer Viskosität von weniger als 10 000 cp gemäß dieser Erfindung entspricht) durch Verwendung eines Kondensations-CVD-Verfahrens zu bilden.

Wenn ein metallischer Film, der als Leitung verwendet wird, auf einem Isolationsfilm mit einer derartig niedrigen Viskosität mit Hilfe des Bedampfungsverfahrens wie ein Magnetronbedampfen gebildet wird, wird jedoch die Oberfläche des Isolationsfilmes durch das bei dem Bedampfen verwendete Plasma sehr beschädigt.

Als Ergebnis kann ein Teil der chemischen Bindung eines Moleküls, das den Isolationsfilm ausmacht, aufgespalten werden oder eine irreguläre Grenzfläche kann zwischen dem Isolationsfilm und einer Leitung, die darauf gebildet werden soll (die dem zweiten leitenden Film dieser Erfindung entspricht) gebildet werden, wodurch verschiedene Probleme wie die Erzeugung eines Verluststromes zwischen einem Paar von Leitungen, die auf beiden Seiten des Isolationsfilmes angeordnet sind (entsprechend dem ersten und dem zweiten Leitungsfilm dieser Erfindung) oder die Zerstörung des Isolationsfilmes verursacht werden.

Wenn jedoch ein Bereich des Isolationsfilmes, auf dem der obere zweite leitende Film niedergeschlagen ist, eine hohe Viskosität aufweist wie bei dem dritten Ausführungsbeispiel dieser Erfindung, kann die Schädigung der Oberfläche des Isolationsfilmes durch das Plasma minimiert werden, wodurch es möglich wird, eine Zerstörung der Isolationseigenschaft des Isolationsfilmes effektiv zu verhindern.

Wenn weiterhin ein Durchgangsloch zum Verbinden der oberen Leitung mit der unteren Leitung in einem Isolationsfilm niedriger Viskosität gebildet wird, kann die Stelle und die Form des Durchgangsloches aufgrund der Deformation des Isolationsfilmes instabil werden. Wenn die Viskosität eines Teils des Isolationsfilmes erhöht wird, wie es durch diese Erfindung vorgeschlagen wird, kann ein solches Problem, das bei der Bildung eines Durchgangsloches involviert ist, vermieden werden.

Diese Erfindung wird unter Bezugnahme auf verschiedene Merkmale, die in den Zeichnungen gezeigt sind, erläutert.

#### (Beispiel 1)

Fig. 1 ist eine schematische Sicht einer Halbleiter-Herstellungsvorrichtung, die gemäß einem ersten Beispiel dieser Erfindung verwendet wird.

In Fig. 1 bedeutet Bezugszeichen 1 einen Vakuumbehälter, an dem eine Auslaßanlage (nicht gezeigt) über einer Auslaßöffnung 2 verbunden ist. Dieser Vakuumbehälter 1 wird durch die Auslaßanlage auf ein Vakuum von  $2 \times 10^{-7}$  Torr oder mehr evakuiert. Ein Substrat-Befestigungstisch 3, hergestellt aus rostfreiem Stahl, ist im Inneren des Vakuumbehälters 1 angeordnet, und ein Silicium-Substrat 4 ist auf diesem Substrat-Befestigungstisch 3 vorgesehen.

Der Vakuumbehälter 1 ist weiterhin mit verschiedenen Rohren um Zuführen von verschiedenen Gasen in den Vakuumbehälter 1 verbunden. Ein Rohr 5 aus rostfreiem Stahl zum Zuführen von Sauerstoffgas, ein Rohr 15 aus rostfreiem Stahl zum Zuführen von Tetramethylsilan ( $\text{Si}(\text{CH}_3)_4$ , nachfolgend einfach mit TMS bezeichnet) und ein Rohr 30 aus rostfreiem Stahl zum Zuführen von Stickstoffgas sind mit dem Vakuumbehälter 1 verbunden. Das Rohr 5 zum Zuführen von Sauerstoffgas (der Einfachheit halber ist eine Sauerstoff-Zufuhranlage in Fig. 1 weggelassen) ist mit einem Stopppventil 6, einem Massenflußsteuergesetz 7, einem Stopppventil 8 und einer Verbindung 9 versehen. Der distale Endbereich des Sauerstoff-Zufuhrrohres 5 ist mit einem  $\text{Al}_2\text{O}_3$ -Rohr 11 verbunden.

Dieses  $\text{Al}_2\text{O}_3$ -Rohr 11 wird mit dem Vakuumbehälter 1 über eine Verbindung 12 verbunden und ist an einem Zwischenbereich davon mit einem Hohlraum 10 für die Mikrowellenentladung versehen. Die Mikrowellenquelle und das Mikrowellenzuführungssystem der Mikrowellen-



entladung sind in Fig. 1 weggelassen.

Das Rohr 15 zum Zuführen von TMS (aus Gründen der Einfachheit wird in eine TMS-Zuführanlage von Fig. 1 weggelassen) ist mit einem Stoppventil 16, einem Massenflußsteuergerät 17, einem Stoppventil 18 und einem Rohr 19 aus rostfreiem Stahl versehen, das mit dem Vakuumbehälter 1 verbunden ist.

Das durch das Rohr 30 zu führende Stickstoffgas (der Einfachheit halber ist die Stickstoffgas-Zuführeinrichtung von Fig. 1 weggelassen) wird zum Einstellen des Druckes innerhalb des Vakuumbehälters 1 verwendet, d. h. zum Einstellen des Innendruckes des Vakuumbehälters 1 auf atmosphärischen Druck bei dem Hineinlegen des Silicium-Substrates 4 in den Vakuumbehälter 1 oder bei der Herausnahme des Silicium-Substrates 4 daraus oder zum Verkürzen der Zeit, die zum Wiedereinstellen der gekühlten Temperatur des Silicium-Substrates 4 auf Raumtemperatur erforderlich ist, verwendet. Dieses Stickstoffgas kann zum Einstellen des Innendruckes des Vakuumbehälters 1 beim Niederschlagen eines Siliciumdioxid-Filmes auf dem Silicium-Substrat 4 verwendet werden.

Das Rohr 30 ist mit einem Stoppventil 31, einem Massenflußsteuergerät 32, einem Stoppventil 33 und einem Rohr 34 aus rostfreiem Stahl versehen, das mit dem Vakuumbehälter 1 verbunden ist.

Der Substrat-Befestigungstisch 3 ist mit Kupferrohren 35a und 35b zum Kühlen oder Erwärmen des Substrat-Befestigungstisches 3 versehen (das Kupferrohr 35a bedeutet ein Rohr, das an der Gaseinflußseite angeordnet ist, während das Kupferrohr 35b ein Rohr bedeutet, das an der Gasausflußseite vorgesehen ist), wobei diese Kupferrohre 35a und 35b in dem Substrat-Befestigungstisch 3 verborgen sind. Diese Kupferrohre 35a und 35b sind mit dem Stickstoff-Zuführsystem zum Durchführen eines gekühlten Stickstoffgases oder eines Stickstoffgases mit Raumtemperatur verbunden, wie in Fig. 2 gezeigt ist.

Unter Bezugnahme auf das Stickstoffzuführsystem, das in Fig. 2 gezeigt ist, bedeutet Bezugsziffer 101 ein Rohr zum Zuführen von Stickstoffgas, das mit einer Stickstoff-Zuführanlage verbunden ist (nicht gezeigt). Dieses Rohr 101 ist mit einem Stoppventil 102, einem Massenflußsteuergerät 103, Stoppventilen 104 und 105 versehen, und der distale Endbereich des Rohres 101 ist mit dem Rohr 35a zum Kühlen oder Erwärmen des Substrat-Befestigungstisches 3, der in Fig. 1 gezeigt ist, verbunden.

Mit diesem Rohr 101 sind ein Paar von Verzweigungsrohren 106 und 109 verbunden, die von der Aufstromseite und der Abstromseite des Stoppventils 105 abzweigt sind. Das Verzweigungsrohr 106 ist durch ein Stoppventil 107 mit einem Spiralrohr 108 verbunden, das wiederum durch ein Stoppventil 110 mit Abzweigungsrohr 109 verbunden ist, das mit dem Rohr 35a verbunden ist, das in Fig. 1 gezeigt ist.

Das Spiralrohr 108 ist in flüssigen Stickstoff 112 getaucht, der in einem Behälter 111 aus flüssigem Stickstoff gefüllt ist, um so das Stickstoffgas, das durch das Spiralrohr 108 fließt, auf eine Temperatur zu kühlen, die in etwa der Temperatur des flüssigen Stickstoffs entspricht.

Wenn das Silicium-Substrat 4 gekühlt werden soll, kann das Stickstoffgas durch das Spiralrohr 108 fließen. Wenn auf der anderen Seite die Temperatur des Silicium-Substrates 4, das somit gekühlt ist, wieder auf Raumtemperatur nach der Bildung eines Siliciumdioxid-Filmes erhöht werden soll, wird das Ventil 105 geöffnet,

zum Zuführen eines Stickstoffgases mit Raumtemperatur zu dem Rohr 35.

Durch Führen des einen Stickstoffgases, während es durch das Massenflußsteuergerät gesteuert und durch das flüssige Stickstoffgas gekühlt ist, von dem Rohr 35a zu dem Rohr 35b, können der Substrat-Befestigungstisch 3 ebenso wie das Silicium-Substrat 4 auf eine gewünschte Temperatur heruntergekühlt werden.

Unter erneuter Bezugnahme auf Fig. 1 ist der Substrat-Befestigungstisch 3 ebenfalls mit einem Gehäuseerwärmer 36 versehen, der als Erwärmungsquelle zum Erwärmen des Silicium-Substrates 4 auf eine gewünschte Temperatur funktioniert. Die Energiequelle für diesen Gehäuseerwärmer 36 ist von Fig. 1 weggelassen.

Die Wand des Vakuumbehälters 1 ist aus einer Zweischichtstruktur gebildet und mit einer Erwärmungsquelle 41 zum Erwärmen der Wand und einem Wärmeisolationmaterial 42 versehen. Die Temperatur der Wand des Vakuumbehälters 1 wird bei diesem Beispiel auf 80°C eingestellt. Die Energiequelle der Erwärmungsquelle 41 ist in Fig. 1 weggelassen.

Als nächstes wird ein Verfahren zur Bildung eines Zwischenschicht-Isulationsfilmes unter Verwendung der Halbleiter-Herstellungsanlage mit dem oben erwähnten Aufbau erläutert.

Zunächst wird das Innere des Vakuumbehälters 1 auf atmosphärischen Druck eingestellt, und ein Silicium-Substrat 4, das darauf gewünschte Elemente trägt, wird auf einem Substrat-Befestigungstisch 3 befestigt. In diesem Fall kann eine evakuierte Ersatzkammer vorgesehen sein, damit das Silicium-Substrat 4 automatisch zu dem Vakuumbehälter übertragen werden kann, indem ein Roboterarm verwendet wird. Dann wird das Innere des Vakuumbehälters über die Auslaßöffnung 2 auf ein endgültiges Vakuum eingestellt, wobei ein Vakuum von wenigstens  $1 \times 10^{-7}$  Torr in diesem Fall eingestellt werden sollte.

Dann kann ein gekühltes Stickstoffgas durch eine Passage zwischen dem Kupferrohr 35a und dem Kupferrohr 35b geleitet werden, wodurch der Substrat-Befestigungstisch 3 auf eine bestimmte Temperatur von etwa -100 bis -25°C gekühlt wird. Wenn der Substrat-Befestigungstisch 3 auf den oben erwähnten Bereich herabgekühlt wird, ist die Temperatur des Silicium-Substrates 4 (Substrat-Temperatur) -80 bis -25°C. Nachdem die Stabilisierung der Substrat-Temperatur bei einer gewünschten Temperatur bestätigt ist, wird das Massenflußsteuergerät 17 für TMS auf 1 bis 100 cm<sup>3</sup>/min eingestellt, und die Stoppventile 16 und 18 werden zum Einführen von TMS in den Vakuumbehälter 1 geöffnet.

Danach wird das Massenflußsteuergerät 10 für das Sauerstoffgas auf 1 bis 1000 cm<sup>3</sup>/min eingestellt und die Stoppventile 6 und 8 werden zum Einführen von Sauerstoffgas in den Vakuumbehälter 1 geöffnet. In diesem Fall kann der Druck in dem Vakuumbehälter 1 auf etwa 10 mTorr bis etwa 500 Torr durch Wechseln der Konduktanz der Auslaßöffnung 2 erhöht werden, wobei der Partialdruck 2 bis 200 Torr für TMS und 2 bis 400 Torr für Sauerstoffgas ist.

Nach dem Stabilisieren der Flußrate von Sauerstoff wird dann eine Mikrowelle mit etwa 100 Watt bis 5 kW aufgedrückt, um dadurch die Mikrowellenentladung von Sauerstoffgas zu induzieren. Durch Definieren der Zeit, wenn die Mikrowellenentladung beginnt, als Filmniederschlagsstartzeit, wird die Filmniederschlagszeit geeignet ausgewählt, um dadurch einen Zwischenschicht-Isulationsfilm, bestehend aus einer



Verbindung, umfassend Silicium, Sauerstoff, Kohlenstoff und Wasserstoff, auf dem Silicium-Substrat 4 niederzuschlagen.

Das Beenden des oben erwähnten Niederschlages kann folgendermaßen durchgeführt werden.

Zunächst wird der Ausstoß der Mikrowellenleistung abgeschaltet, um die Mikrowellenfreisetzung zu stoppen. Die Zeit dieser Abstellung wird als Niederschlagsbeendigungszeit definiert. Dann werden die Stoppventile 28 und 18 geschlossen, zum Stoppen der Zufuhr vom TMS, und danach wird das Stoppventil 8 geschlossen, zum Stoppen der Zufuhr von Sauerstoffgas. Dann wird die Zufuhr des kühlenden Stickstoffgases, das zwischen dem Rohr 35a und dem Rohr 35b fließt, auf gleiche Weise wie oben beendet, und dadurch kann ein Stickstoffgas mit Raumtemperatur in den Vakuumbehälter 1 fließen.

In diesem Fall wird das Massenflußsteuergerät 32 für das Stickstoffgas auf 1 bis 10 l/min eingestellt, und die Stoppventile 31 und 32 werden geöffnet, zum Einführen von Stickstoffgas von dem Rohr 34 in den Vakuumbehälter 1, um so das Innere des Vakuumbehälters 1 auf einen Druck in etwa auf atmosphärischen Druck einzustellen, und gleichzeitig wird die Temperatur des Silicium-Substrates 4 erneut auf Raumtemperatur angehoben.

Schließlich wird das Innere des Vakuumbehälters 1 auf atmosphärischen Druck eingestellt und das Silicium-Substrat 4 aus dem Vakuumbehälter 1 herausgenommen. Falls gewünscht, kann das nächste Silicium-Substrat zu diesem Zeitpunkt auf dem Substratbefestigungstisch 3 befestigt werden. Eine Folge von Vorgängen für die Bildung eines Zwischenschicht-Isolationsfilmes wird auf diese Weise vollendet.

Wie oben erläutert, wird nach diesem Beispiel ein Zwischenschicht-Isolationsfilm, bestehend aus einer Verbindung, umfassend Silicium, Sauerstoff, Kohlenstoff und Wasserstoff, in einem Filmbildungszustand gebildet, wobei der Gehalt an Kohlenstoff größer ist als der Gehalt an Silicium. Es wurde festgestellt, daß dann, wenn in einem Zwischenschicht-Isolationsfilm, bestehend aus einer Verbindung, umfassend Silicium, Sauerstoff, Kohlenstoff und Wasserstoff, der Gehalt an Kohlenstoff größer ist als der Gehalt an Silicium, der resultierende Isolationsfilm bei Raumtemperatur viskos wird, wodurch es möglich wird, die Stufenbedeckungseigenschaft des Isolationsfilmes zu verbessern. Es wurde ebenfalls festgestellt, daß ein derartiger viskoser Isolationsfilm, bestehend aus einer Verbindung, umfassend Silicium, Sauerstoff, Kohlenstoff und Wasserstoff, eine niedrige Dielektrizitätskonstante und Hygroskopizität aufweist.

Daher ist es erfindungsgemäß möglich, einen Zwischenschicht-Isolationsfilm oder einen Isolationsschutzfilm zu erhalten, der bezüglich der Stufenbedeckungseigenschaft ausgezeichnet ist und sowohl eine niedrige Dielektrizitätskonstante als auch niedrige Hygroskopizität hat.

(Beispiel 12)

Fig. 3A bzw. 3B zeigen einen Querschnitt, der einen Schritt der Herstellung einer Halbleitervorrichtung entsprechend einem zweiten Beispiel dieser Erfindung erläutert.

Fig. 3A zeigt einen schematischen Querschnitt durch ein Silicium-Substrat 201, bevor ein Zwischenschicht-Isolationsfilm darauf niedergeschlagen ist. Nachdem ein

Siliciumdioxid-Film 202 auf dem Silicium-Substrat 201, das zuvor mit einem isolierten Elementbereich versehen wurde, gebildet ist, wird der Siliciumdioxid-Film 202 selektiv von einem Kontaktloch weggeätzt, und dann wird ein Al-1% Si-0,5% Cu-Film (nachfolgend einfach mit Al-Legierungsfilm bezeichnet), der als Verbindungsleitung 203 funktioniert, niedergeschlagen und geätzt, wodurch ein gewünschtes Leitungsmuster gebildet wird, wie in Fig. 3A gezeigt ist.

Anschließend wurde das Silicium-Substrat 201 auf dem Substratbefestigungstisch 3 angeordnet, der in dem Vakuumbehälter 1 einer Halbleiter-Herstellungsanlage der gleichen Art wie bei dem oben erwähnten Beispiel 1 vorgesehen ist, und die gleiche Vorgehensweisen, wie sie in Beispiel 1 gezeigt sind, wurden wiederholt, zur Bildung eines Zwischenschicht-Isolationsfilmes 204 über der gesamten Oberfläche des Substrates 201, wie in Fig. 3B gezeigt ist.

Mehr spezifisch wurde der Zwischenschicht-Isolationsfilm 204 unter folgenden Filmbildungsbedingungen gebildet: 20 cm<sup>3</sup>/min Flußrate TMS, 200 cm<sup>3</sup>/min Flußrate Sauerstoffgas, 0,2 Torr Niederschlagsdruck, 200 Watt Mikrowellenleistung, -30°C Substrat-Temperatur und 2 min Niederschlagszeit. Unter diesen Filmbildungsbedingungen war die Niederschlagsrate des Zwischenschicht-Isolierfilmes 204 etwa 0,5 µm/min.

Wenn die unter diesen Bedingungen erhaltene Probe mit Hilfe eines Raster-Elektronenmikroskopes (SEM) beobachtet wurde, wurde festgestellt, daß der Zwischenschicht-Isolationsfilm 204 in der gesamten Rille zwischen den Verbindungsleitungen 203 auf gleiche Weise niedergeschlagen war als wenn ein Becher mit einer Flüssigkeit gefüllt würde, d. h. es war in dem Zwischenschicht-Isolationsfilm 204, der in der Rille angeordnet war, überhaupt kein Loch vorhanden.

In einem anderen Experiment, das durch diese Erfinder durchgeführt wurde, wurde ein Isolationsfilm auf der flachen Oberfläche eines Silicium-Substrates entsprechend der gleichen Vorgehensweise wie oben gebildet, und der resultierende Isolationsfilm wurde mit Hilfe eines Transmissionsverfahrens unter Verwendung eines Fourier-Transform-Infrarotspektrometers analysiert.

Als Ergebnis waren die Absorptions-Peaks, die beobachtet werden konnten, ein Schwingungs-Peak von Si-O-Si und ein Absorptions-Peak von Si-CH<sub>3</sub>. Das Verhältnis des Si-CH<sub>3</sub>-Peaks zu dem Si-O-Si-Peak war 10 bis 50%.

Es kann wegen der Ungenauigkeit der Detektionsempfindlichkeit unmöglich sein, den Gehalt einer jeden Komponente von diesen Daten direkt abzuleiten. Wenn jedoch der gesamte Isolationsfilm durch Verwendung eines chemischen Benetzungsverfahrens aufgelöst und die resultierende Lösung mit Hilfe eines Atomabsorptionsverfahrens untersucht wurde, wurde festgestellt, daß das Zusammensetzungsverhältnis von Kohlenstoff (C) und Silicium (Si) etwa 1 : 1 bis 30 : 1 ist, was in jedem Fall einen größeren Gehalt von C im Vergleich zu Si anzeigt.

Wenn das Endvakuum des Vakuumbehälters 1 verhältnismäßig niedrig war, trat ein Peak von H<sub>2</sub>O in jedem Experiment auf. Im Hinblick darauf sollte das Endvakuum des Vakuumbehälters 1 bevorzugt so hoch wie möglich sein.

Es kann gesagt werden, daß der oben erwähnte Isolationsfilm oder der Zwischenschicht-Isolationsfilm 204 eher ein Isolationsöl mit einer hohen Viskosität als ein Isolationsfilm ist, da festgestellt wurde, daß die Viskosität des Isolationsfilmes 100 bis 3000 cps ist. Auf der

anderen Seite wurde festgestellt, daß die Dielektrizitätskonstante des Isolationsfilmes etwa 1,8 bis 3,2 war.

Wenn die Hygroskopizität des Isolationsfilmes oder des Zwischenschicht-Isolationsfilmes 204 durch Durchlassen des Filmes in Luftatmosphäre untersucht wurde, trat die Absorption von Wasser schwer auf.

Wenn darüber hinaus der Isolationsfilm oder der Zwischenschicht-Isolationsfilm 204 auf bis zu 650°C im Vakuum erwärmt wurde und die davon freigesetzten Gase unter Verwendung eines Massenspektrometers zum Untersuchen der thermischen Stabilität des Filmes gemessen wurden, wurde eine kleine Menge an H<sub>2</sub>O bei einer Temperatur von 300°C ermittelt, und in einem Temperaturbereich von 300 bis 650°C wurden nur Peaks ermittelt, die C und H beinhalten, d. h. ein Peak mit H<sub>2</sub>O wurde bei diesem Temperaturbereich überhaupt nicht ermittelt.

Bei einem anderen Experiment wurde ein Siliciumdioxid-Film mit 0,5 µm Dicke auf einem Silicium-Substrat gebildet, und dann wurde ein Al-Legierungsfilm mit einer Dicke von 0,9 µm darauf mit Hilfe eines üblichen Magnetron-Bedampfungsverfahrens gebildet. Dann wurde auf dem Al-Legierungsfilm durch Anwendung eines üblichen Lichtbestrahlungsverfahrens und eines reaktiven Ionen-Bedampfens ein Muster gebildet, um dadurch eine Verbindungsleitung zu bilden, die aus der Al-Legierung bestand. Anschließend wurde ein Isolationsfilm mit einer Dicke von 2 µm über der gesamten oberen Fläche des Silicium-Substrates entsprechend dem Verfahren dieses Beispiels niedergeschlagen, unter Erhalt einer Probe A. Auf der anderen Seite wurde ein Siliciumdioxid-Film mit einer Dicke von 2 µm auf der gesamten Oberfläche des Silicium-Substrates entsprechend einem üblichem Plasma-CVD-Verfahren niedergeschlagen, unter Erhalt einer Probe B. Wenn mit diesen Proben ein elektrischer Zuverlässigkeitsversuch durchgeführt wurde, zeigte die Probe A eine deutlich höhere Zuverlässigkeit als die Probe B an.

Da der Zwischenschicht-Isolationsfilm 204, der entsprechend diesem Beispiel gebildet war, viskos war, war der Film im Vergleich zu dem konventionellem Siliciumdioxid-Film ziemlich weich. Der Hauptgrund, warum der Isolationsfilm 204 eine außerordentlich hohe elektrische Zuverlässigkeit im Vergleich zu dem konventionellen Siliciumdioxid-Film anzeigt, kann der Tatsache zugeschrieben werden, daß der Isolationsfilm 204 weich genug war, um von irgendwelchen Spannungen frei zu sein, die bei einem konventionellen Siliciumdioxid-Film gefunden werden, so daß irgendwelche Mängel aufgrund thermischer Spannung vermieden werden konnten.

#### (Beispiel 3)

Fig. 4 zeigt eine schematische Sicht einer Halbleiter-Herstellungsvorrichtung, die gemäß einem dritten Beispiel dieser Erfindung verwendet wird.

In Fig. 4 bedeutet Bezugszeichen 301 einen Vakuumbehälter, an dem eine Auslaßanlage (nicht gezeigt) über eine Auslaßöffnung 302 verbunden ist, um so zu ermöglichen, daß das Innere des Vakuumbehälters 301 auf ein hohes Vakuum eingestellt werden kann. Denn das Endvakuum dieses Vakuumbehälters 301 ist  $2 \times 10^{-7}$  Torr oder mehr. Die Auslaßanlage ist in Fig. 4 zur Vereinfachung der Erläuterung nicht gezeigt.

Ein Substrat-Befestigungstisch 303 zum Tragen eines Substrates ist im Inneren des Vakuumbehälters 301 angeordnet, und ein Silicium-Substrat 304 ist auf diesem

Substrat-Befestigungstisch 303 angeordnet.

Der Vakuumbehälter 301 ist mit verschiedenen Rohren zum Zuführen von verschiedenen Gasen in den Vakuumbehälter 301 verbunden. Ein Rohr 305 zum Zuführen von Sauerstoffgas, ein Rohr 315 zum Zuführen eines organischen Silans wie TMS und ein Rohr 330 zum Zuführen von Stickstoffgas sind mit dem Vakuumbehälter 301 verbunden. Das Rohr 305 ist aus rostfreiem Stahl hergestellt.

Das Rohr 305 zum Zuführen von Sauerstoffgas (der Einfachheit halber ist eine Sauerstoffzuführanlage von Fig. 4 weggelassen) ist mit einem Stoppventil 306, einem Massenflußsteuergerät 307, einem Stoppventil 308 und einer Verbindung 309 versehen. Der distale Endbereich des Sauerstoffzuführrohres 305 ist mit einem Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-Rohr 311 verbunden.

Dieses Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-Rohr 311 ist mit einem rostfreien Rohr 313 über eine Verbindung 312 verbunden, die mit dem Vakuumbehälter 301 verbunden ist. Das Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-Rohr 311 ist an einem Mittelbereich davon mit einem Hohlraum 310 für die Mikrowellenentladung versehen (aus Gründen der Einfachheit sind eine Mikrowellenquelle und ein Mikrowellenzuführsystem in Fig. 4 weggelassen).

Das rostfreie Rohr 313 ist mit einem Sprühkopf 314 verbunden, der in dem Vakuumbehälter 301 derart vorgesehen ist, daß er dem Substrat-Befestigungstisch 303 gegenüber liegt. Das von dem rostfreien Rohr 313 zugeführte Sauerstoffgas wird, während es mit TMS reagiert wird, zu dem Substrat über den Sprühkopf 314 zugeführt. Der Sprühkopf 314 kann auf eine gewünschte Temperatur in dem Bereich von -70°C bis 100°C erwärmt oder gekühlt werden (der Einfachheit halber sind die Erwärmungsquelle und eine Steueranlage für dieses Erwärmen und Kühlen in Fig. 4 weggelassen).

Das Rohr 315 zum Zuführen von TMS (der Einfachheit halber ist eine TMS-Zuführanlage von Fig. 4 weggelassen) ist mit einem Stoppventil 316, einem Massenflußsteuergerät 317, einem Stoppventil 318 und einem Rohr 319 aus rostfreiem Stahl versehen und mit dem Vakuumbehälter 301 verbunden. Ein Nadelventil, das in der Lage ist, die Flußrate zu steuern, kann anstelle des Massenflußsteuergerätes 317 verwendet werden.

Das Rohr 319 aus rostfreiem Stahl ist mit dem Sprühkopf 314, der in dem Vakuumbehälter 301 vorgesehen ist, verbunden. Wenn Sauerstoffgas und TMS gleichzeitig zugeführt werden, werden diese Gase in dem Sprühkopf 314 vermischt und teilweise miteinander reagiert, so daß die Mischung aus diesen Gasen, die die Reaktionsprodukte beinhalten, zu dem Substrat geführt werden. Es sollte bemerkt werden, daß die Verwendung des Sprühkopfes 314 erfindungsgemäß nicht wesentlich ist, d. h. das organische Silan und das aktivierte Sauerstoffgas können getrennt zu der Nähe der Oberfläche des Substrates geführt werden, wodurch ermöglicht wird, daß diese Gase in der Nähe der Oberfläche des Substrates vermischt werden, wobei nahezu die gleichen Wirkungen erzielt werden.

Das durch das Rohr 330 zu führende Stickstoffgas (der Einfachheit halber ist eine Stickstoffgaszuführanlage von Fig. 4 weggelassen) wird zum Einstellen des Druckes in dem Vakuumbehälter 301 verwendet, d. h. um den Innendruck des Vakuumbehälters 301 auf atmosphärischen Druck einzustellen, wenn das Silicium-Substrat 304 in den Vakuumbehälter 301 gegeben oder daraus herausgenommen wird, oder um die Zeit zu verkürzen, die zum Einstellen der gekühlten Temperatur des Silicium-Substrates 304 auf Raumtemperatur erforder-

lich ist. Dieses Stickstoffgas kann zum Einstellen des Innendruckes des Vakuumbehälters 301 bei dem Abscheiden eines Isolationsfilms auf dem Silicium-Substrat 304 verwendet werden.

Das Rohr 330 ist über ein Stoppventil 331, ein Massenflußsteuergerät 332, ein Stoppventil 333 und ein Rohr 334 mit dem Vakuumbehälter 301 verbunden.

Der Substrat-Befestigungstisch 303 ist mit Kupferrohren 335a und 335b zum Kühlen oder Erwärmen des Substrat-Befestigungstisches 303 (das Kupferrohr 335a bezeichnet ein Rohr, das an der Gaseinflußseite angeordnet ist, während das Kupferrohr 335b ein Rohr bedeutet, das an der Gasausflußseite angeordnet ist), wobei diese Kupferrohre 335a und 335b in dem Substrat-Befestigungstisch 303 verborgen sind. Diese Kupferrohre 335a und 335b sind mit dem Stickstoffzuführsystem zum Zuführen eines gekühlten Stickstoffgases oder eines Stickstoffgases mit Raumtemperatur verbunden.

Der Substrat-Befestigungstisch 303 ist ebenfalls mit einem Gehäuseerwärmer 336 versehen, der als Erwärmungsquelle zum Erwärmen des Silicium-Substrates 304 auf eine gewünschte Temperatur fungiert. Die Energiequelle dieses Gehäuseerwärmers 336 ist von Fig. 4 weggelassen.

Die Wand des Vakuumbehälters 301 ist aus einer Zweischichtstruktur gebildet und mit einer Erwärmungsquelle 341 zum Erwärmen der Wand und eines Wärmeisolationsmaterials 342 versehen (die Energiequelle der Erwärmungsquelle 341 ist in Fig. 4 weggelassen). Die Wandtemperatur des Vakuumbehälters 301 bei diesem Beispiel wird auf 80°C eingestellt.

Als nächstes wird ein Verfahren zur Bildung eines Isolationsfilmes unter Anwendung der Halbleiter-Herstellungsanlage mit dem oben erwähnten Aufbau erläutert.

Zunächst wird das Innere des Vakuumbehälters 301 wieder auf atmosphärischen Druck eingestellt, und ein Silicium-Substrat 304 wird auf einem Substrat-Befestigungstisch 303 befestigt. In diesem Fall kann eine evakuierte Ersatzkammer neben dem Vakuumbehälter 301 über ein Gate-Ventil vorgesehen sein, um so zu ermöglichen, daß das Silicium-Substrat 304 automatisch zu dem Vakuumbehälter 301 übertragen wird, indem ein Roboterarm verwendet wird. Dann wird das Innere des Vakuumbehälters 301 durch die Auslaßöffnung 302 auf ein Endvakuum evakuiert, wobei in diesem Fall ein Vakuum von wenigstens  $1 \times 10^{-7}$  Torr eingestellt werden sollte.

Dann kann ein gekühltes Stickstoffgas von dem Kupferrohr 335a zu dem Kupferrohr 335b fließen, wobei der Substrat-Befestigungstisch 303 auf eine vorgegebene Temperatur von etwa -100 bis -25°C gekühlt wird. Wenn der Substrat-Befestigungstisch 303 auf den oben erwähnten Bereich heruntergekühlt wird, ist die Temperatur des Silicium-Substrates 304 (Substrat-Temperatur) -80 bis -25°C. Wenn die Stabilisierung der Substrat-Temperatur bei einer gewünschten Temperatur bestätigt ist, wird das Massenflußsteuergerät 317 für TMS auf 1 bis 100 cm<sup>3</sup>/min eingestellt und die Stoppventile 316 und 318 werden geöffnet, zum Einführen von TMS in den Vakuumbehälter 301.

Danach wird das Massenflußsteuergerät 310 für das Sauerstoffgas auf 1 bis 1000 cm<sup>3</sup>/min eingestellt, und die Stoppventile 306 und 308 werden geöffnet, zum Einführen von Sauerstoffgas in den Vakuumbehälter 301. In diesem Fall kann der Druck in dem Vakuumbehälter 301 auf etwa 10 mTorr bis 500 Torr eingestellt werden, indem der Konduktanz der Auslaßöffnung 302 geändert wird, wobei der Partialdruck 2 bis 200 Torr für TMS und

2 bis 400 Torr für Sauerstoffgas ist.

Nach dem Stabilisieren der Flußrate von Sauerstoff wird dann eine Mikrowelle von etwa 100 Watt bis 5 kWatt aufgedrückt, um dadurch die Mikrowellenentladung von Sauerstoffgas induzieren. Durch Definieren der Zeit, wenn die Mikrowellenentladung initiiert wird, als Filmniederschlagsstartzeit, wird die Filmniederschlagszeit geeignet ausgewählt, um dadurch einen Siliciumdioxid-Film auf das Silicium-Substrat 304 abzuscheiden.

Bei diesem Beispiel wurde ein aktiviertes Sauerstoffgas direkt in den Vakuumbehälter 301 eingeführt. Da die Flußrate von Sauerstoffgas und die Resonanz der Mikrowelle sich nicht sofort stabilisieren, sobald sie ausgestoßen werden, ist es im Hinblick auf den Erhalt eines Isolationsfilmes mit einer ausgezeichneten Qualität ratsam, das Sauerstoffgas nicht in den Vakuumbehälter 301, sondern über einen Bypass zu leiten, nachdem die Flußrate von Sauerstoffgas und die Resonanz der Mikrowelle stabilisiert sind.

Die Beendigung des oben erwähnten Niederschlags kann durch die folgenden Vorgehensweisen durchgeführt werden.

Zunächst wird der Ausstoß der Mikrowelle abgeschaltet, zum Stoppen der Mikrowellenentladung. Der Zeitpunkt dieser Abscheidung wird als Niederschlagsbeendigungszeit definiert. Dann werden die Stoppventile 328 und 318 geschlossen, zum Stoppen der Zufuhr von TMS, und danach wird das Stoppventil 308 geschlossen, zum Stoppen der Zufuhr von Sauerstoffgas. Dann werden die Zufuhr des kühlenden Stickstoffgases von dem Rohr 335a und dem Rohr 335b auf gleiche Vorgehensweise wie oben erwähnt, gestoppt. Zu diesem Zeitpunkt wird das Massenflußsteuergerät 332 für Stickstoffgas auf 1 bis 10 l/min eingestellt, und die Stoppventile 331 und 332 werden geöffnet, zum Einführen von Stickstoffgas von dem Rohr 334 in den Vakuumbehälter 301, um so das Innere des Vakuumbehälters 301 wieder auf einen Druck in der Nähe von atmosphärischen Druck einzustellen, und gleichzeitig wird die Temperatur des Silicium-Substrates 304 erneut auf Raumtemperatur angehoben.

Schließlich wird das Innere des Vakuumbehälters 301 auf atmosphärischen Druck eingestellt, und das Silicium-Substrat 304 wird aus dem Vakuumbehälter 301 herausgenommen. Falls gewünscht, kann das nächste Silicium-Substrat zu diesem Zeitpunkt auf dem Substrat-Befestigungstisch 303 befestigt werden. Eine Verfahrenssequenz für die Bildung eines Siliciumoxid-Filmes wird auf diese Weise vollendet.

Ein Zwischenschicht-Isolationsfilm wurde auf einem Substrat gebildet, das eine Verbindungsleitung (Probe) trägt, wobei entsprechend den oben erwähnten Vorgehensweisen gearbeitet wurde, wie in den Fig. 5A und 5C gezeigt ist.

Diese Probe wurde wie folgt hergestellt. Zunächst wurde ein thermischer Siliciumdioxid-Film 402 auf dem Silicium-Substrat 401, das ein Element (nicht gezeigt) trägt, mit einer Dicke von etwa 1 µm gebildet, und dann wurde ein Al-1%, Si-0,5%, Cu-Film (nachfolgend einfach mit Al-Legierungsfilm bezeichnet), der als Al-Legierungsleitung 403 fungiert, die mit dem oben erwähnten Element verbunden ist, mit einer Dicke von etwa 0,4 bis 0,9 µm niedergeschlagen. Danach wurde der resultierende Al-Legierungsfilm durch Verwendung eines üblichen Expositionsverfahrens und eines reaktiven Ionen-Ätzens (RIE) ionengeätzt, wodurch eine gewünschte Al-Legierungsleitung gebildet wurde, wie in Fig. 5A ge-

zeigt ist. Diese Al-Legierungsleitung 403 wurde über ein Kontaktloch, das in dem thermischen Siliciumdioxid-Film 402 gebildet ist, mit dem oben erwähnten Element verbunden.

Anschließend wurde das Silicium-Substrat 401 auf dem Substrat-Befestigungstisch 303, der in dem Vakuumbehälter 301 vorgesehen ist, angeordnet, und die gleiche Vorgehensweise, die oben erläutert ist, wurde wiederholt, zur Bildung eines Isolationsfilmes 405, wie in Fig. 5B gezeigt ist.

Mehr spezifisch wurde der Zwischenschicht-Isolationsfilm 204 unter folgenden Filmbildungsbedingungen gebildet:

20 cm<sup>3</sup>/Flußrate TMS, 200 cm<sup>3</sup>/min Flußrate Sauerstoffgas, 0,2 Torr Niederschlagsdruck, 200 Watt Mikrowellenleistung, -30° C Substrat-Temperatur und 2 min Niederschlagszeit. Mit diesen Filmbildungsbedingungen war die Niederschlagsrate des Zwischenschicht-Isolationsfilmes 405 etwa 0,1 bis 0,5 µm/min. Wenn die unter diesen Bedingungen erhaltene Probe mit Hilfe eines Rasterelektronenmikroskopes (SEM) beobachtet wurde, wurde festgestellt, daß der Isolationsfilm 405 wie in Fig. 5B gezeigt ist, in dem gesamten Zwischenraum 404 zwischen den Leitungen 403 auf gleiche Weise niedergeschlagen ist, als wenn ein Becher mit Wasser gefüllt wäre, d. h. in dem Isolationsfilm 405, der in der Rille niedergeschlagen ist, sind überhaupt keine Löcher vorhanden.

Dann wurde ein SiO<sub>2</sub>-Film 406 über dem Isolationsfilm 405 bis zu einer Dicke von etwa 0,5 bis 1 µm mit Hilfe einer Plasma-CVD-Anlage vom Parallelplattentyp unter Verwendung von Tetraethoxysilan (TEOS) und Sauerstoff niedergeschlagen (Fig. 5C). Nach Bildung eines Kontaktloches (Durchgangsloch) zum Kontaktieren mit der Al-Legierungsleitung 403 in dem SiO<sub>2</sub>-Film 406 wurde eine zweite Schicht aus einer Al-Legierungsleitung gebildet. Danach wurden diese Vorgehensweisen gewünschte Male wiederholt, zur Bildung einer gewünschten Vielschichtleitung. Da der Isolationsfilm 405 viskos ist, sollte der Isolationsfilm 405, der auf der Al-Legierungsleitung gebildet wird, bevorzugt so dünn wie möglich eingestellt werden, damit die anschließenden Schritte angemessen durchgeführt werden können.

Das Hauptmerkmal dieses Beispiels liegt in einem Unterschied der Filmdicke zwischen der Filmdicke "a" des Isolationsfilmes 405, der auf der Al-Legierungsleitung 403 niedergeschlagen ist, und der Filmdicke "b" des Isolationsfilmes 405, der in der Rille 404 niedergeschlagen ist, wie in Fig. 5B gezeigt ist. Die Filmdicke "b" des Isolationsfilmes 405, der in der Rille 404 niedergeschlagen war, war größer als die Filmdicke "a" des Isolationsfilmes 405, der auf der Al-Legierungsleitung 403 niedergeschlagen war.

Fig. 6 erläutert die Beziehung zwischen der Filmdicke "a" und der Filmdicke "b". Wie in Fig. 6 gezeigt ist, ist die Filmdicke "b" deutlich größer als die Filmdicke "a", bis die Rille 404 vollständig mit dem Isolationsfilm 405 gefüllt ist.

Wenn daher der Niederschlag des Isolationsfilmes 405 zu dem Punkt gestoppt wird, der durch das Zeichen "x" in der Fig. 6 angegeben ist, ist es möglich, eine Struktur zu erhalten, bei der die Rille 405 vollständig mit dem Isolationsfilm 405 gefüllt ist, wobei aber die Oberfläche der Al-Legierungsleitung 403 kaum mit dem Isolationsfilm 405 belegt ist.

Fig. 5B zeigt ein Beispiel, bei dem der Isolationsfilm 405 ebenfalls auf der oberen Fläche der Al-Legierungsleitung 403 niedergeschlagen ist, obwohl die Dicke des

niedergeschlagenen Isolationsfilmes 405 dünn ist. Jedoch muß der Isolationsfilm 405 nicht notwendigweise auf der Oberfläche der Al-Legierungsleitung 403, sondern kann nur auf dem thermischen Siliciumdioxid-Film niedergeschlagen sein, der zwischen den Leitungen angeordnet ist.

Da der Isolationsfilm 405 bei diesem Beispiel eine verhältnismäßig geringe Dielektrizitätskonstante im Vergleich zu dem üblichen Siliciumdioxid-Film aufweist, selbst wenn der Isolationsfilm 405 nur in dem Raum zwischen den Leitungen vorgesehen ist, ist dies für die Verminderung der Zwischenleitungskapazität in lateraler Richtung wirksam.

Da der Isolationsfilm 405 bei diesem Beispiel viskos ist, ist er im Vergleich zu dem üblichen Siliciumdioxid-Film verhältnismäßig weich. Die Weichheit dieses Isolationsfilmes 405 ist in gewisser Hinsicht von großem Vorteil, kann aber nachteilig werden, wie nachfolgend erläutert. Der Grund für die Verbesserung der elektrischen Zuverlässigkeit des Isolationsfilmes 405 kann der Tatsache zugeschrieben werden, daß der Isolationsfilm 405 weich genug war, um für irgendeine thermische Spannung frei zu sein, die bei dem konventionellen Siliciumdioxid-Film gefunden wird, so daß irgendwelche Mängel aufgrund der thermischen Spannung vermieden werden.

Auf der anderen Seite kann die Weichheit des Isolationsfilmes 204 zu einem Hindernis für einen anschließenden Schritt werden. Wenn z. B. der Isolationsfilm 405 über eine gesamte Al-Legierungsleitungsschicht, die eine erste Schicht ausmacht, niedergeschlagen wird, und dann eine andere Al-Legierungsleitungsschicht, die eine zweite Schicht ausmacht, auf dem Isolationsfilm 405 durch das übliche Magnetron-Bedampfungsverfahren niedergeschlagen wird, wird der Isolationsfilm 405 aufgrund der Bedampfungswärme faltig, wodurch es unmöglich wird, die Al-Legierungsleitungsschicht darauf gleichmäßig zu bilden und folglich mit den anschließenden Schritten fortzufahren.

Entsprechend diesem Beispiel existierte der weiche Isolationsfilm 405 jedoch hauptsächlich an einem Bereich zwischen den Al-Legierungsleitungen, und die obere Fläche der Al-Legierungsleitung wurde mit einem SiO<sub>2</sub>-Film 406 kontaktiert, der durch das übliche Plasma-CVD-Verfahren gebildet war. Natürlich muß der weiche Isolationsfilm 405 auf der Al-Legierungsleitung existiert haben, aber es war unmöglich, die Existenz des weichen Isolationsfilmes 405 auf der Al-Legierungsleitung bei der Beobachtung mit einem Rasterelektronenmikroskop (SEM) zu erkennen. Da die Oberfläche des Isolationsfilmes 405 mit einem SiO<sub>2</sub>-Film bedeckt war, der durch ein übliches Plasma-CVD-Verfahren gebildet war, konnten die anschließenden Schritte durchgeführt werden, ohne daß sie im wesentlichen durch das Vorhandensein des Isolationsfilmes 405 behindert waren.

Obwohl eine Kombination von TMS und Sauerstoff bei diesem Beispiel erläutert wird, können nahezu die gleichen Wirkungen durch Verwendung von anderen Arten eines organischen Silans anstelle von TMS erzielt werden. Beispiele eines solchen organischen Silans sind Alkoxysilane wie Tetraethylsilan (Si(C<sub>2</sub>H<sub>5</sub>)<sub>4</sub>), Tetramethoxysilan (Si(OCH<sub>3</sub>)<sub>4</sub>), Tetraethoxysilan (Si(OC<sub>2</sub>H<sub>5</sub>)<sub>4</sub>), Hexamethyldisiloxan (Si<sub>2</sub>O(CH<sub>3</sub>)<sub>6</sub>) und Triisopropoxysilan (Si(C<sub>3</sub>H<sub>7</sub>)<sub>3</sub>). Es ist ebenfalls möglich, Xylol, Phenyltrimethylsilan und Diphenyltrimethylsilan zu verwenden, wobei nahezu die gleichen Wirkungen erhalten werden.

Es ist ebenfalls möglich, eine Verbindung, umfassend

ein Sauerstoffatom als Bestandteils-Komponente anstelle von  $O_2$  zu verwenden. Beispiele einer solchen Verbindung umfassen Ozon,  $CO$ ,  $CO_2$ ,  $NO$ ,  $N_2O$ ,  $NO_2$ ,  $H_2O$  und  $H_2O_2$ , wodurch nahezu die gleichen Wirkungen erzielt werden.

(Beispiel 4)

Die Fig. 7A bis 7C zeigen jeweils einen Querschnitt, wobei ein Schritt der Herstellung einer Halbleiter-Herstellungsvorrichtung entsprechend einem vierten Beispiel dieser Erfindung erläutert wird.

Wie in Fig. 7A gezeigt ist, wird ein thermischer Siliciumdioxid-Film 502 mit einer Dicke von 1  $\mu m$  auf dem Silicium-Substrat 501 gebildet, und dann wird ein Al-Legierungsfilm, der als Al-Legierungsleitung 503 fungiert, mit einer Dicke von 0,9  $\mu m$  mit Hilfe des üblichen Bedampfungsverfahrens niedergeschlagen. Daraufhin wird aus dem resultierenden Al-Legierungsfilm durch Anwendung des üblichen Belichtungsverfahrens und eines reaktiven Ionen-Ätzens ein Muster gebildet, wodurch ein gewünschtes Muster aus einer Al-Legierungsleitung 503 gebildet wird.

In Fig. 7A bedeutet Bezugszeichen 504 eine Rille zwischen den Leitungen. Die Al-Legierungsleitung 503 ist über ein Kontaktloch (nicht gezeigt), das in dem thermischen Siliciumdioxid-Film 502 gebildet ist, mit einem Element (nicht gezeigt) verbunden, das auf dem Silicium-Substrat 501 gebildet ist.

Anschließend wird das Silicium-Substrat 501 auf gleiche Weise wie in dem dritten Beispiel erläutert behandelt, unter Bildung eines Isolationsfilmes 505, wie in Fig. 7B gezeigt ist. Die Filmbildungsbedingungen, die bei diesem Fall angewandt wurden, sind: 20  $cm^3/min$  Flußrate TMS, 100  $cm^3/min$  Flußrate Sauerstoffgas, 0,2 Torr Niederschlagsdruck, 500 Watt Mikrowellenleistung, Temperatur des Substrates: Raumtemperatur. Diese Filmbildungsbedingungen sind lediglich ein Beispiel, und daher sollte diese Erfindung nicht durch diese Bedingungen beschränkt sein.

Wenn diese Bedingungen derart eingestellt werden, daß Sauerstoffradikale leicht erzeugt werden, kann ein Film mit einer konformen Form, wie in Fig. 7B gezeigt ist, leicht erhalten werden. Bedingungen, die die leichte Erzeugung von Sauerstoffradikalen ermöglichen, sind, wenn die Flußrate von Sauerstoff verhältnismäßig größer ist als die Flußrate von TMS; wenn die Mikrowellenenergie verhältnismäßig groß ist; oder wenn die Temperatur des Substrates so eng wie möglich bei Raumtemperatur liegt.

Wenn die unter diesen Bedingungen gebildete Probe durch ein Raster-Elektronenmikroskop (SEM) beobachtet wurde, wurde festgestellt, daß die Dicke des Isolationsfilmes 505, der auf dem Boden der Rille 504 gebildet war, nahezu gleich war wie die Dicke, die auf der Leitung 503 gebildet ist, wie in Fig. 7B gezeigt ist.

Das Hauptmerkmal dieses Beispiels liegt nicht nur darin, daß die Filmdicke des Isolationsfilmes 505, der auf dem Boden der Rille 504 gebildet ist, nahezu gleich war wie die Dicke des Isolationsfilmes 505, der auf der Al-Legierungsleitung 503 gebildet ist, sondern ebenfalls darin, daß ein bestimmtes Ausmaß des Isolationsfilmes 505 (0,1 bis 0,5  $\mu m$  Filmdicke) ebenfalls auf der Al-Legierungsleitung 503 gebildet war. Wenn die Zwischenleitungskapazität in lateraler Richtung erniedrigt werden soll, sollte der Abstand zwischen den Leitungen mit dem Isolationsfilm 505 soweit wie möglich verborgen werden.

Nach Herausnahme des Substrates 501 aus dem Vakuumbehälter wird ein  $SiO_2$ -Film 506 über dem gesamten Isolationsfilm 505 bis zu einer Dicke von etwa 0,5 bis 1,0  $\mu m$  durch das übliche Plasma-CVD-Verfahren niedergeschlagen. Es kann für die Verbesserung der verborgenen Form der Rille 504 wirksam sein, einen 0,2 bis 0,6  $\mu m$  dicken Isolationsfilm zuvor unter Verwendung eines organischen Silans und  $O_3$  niederzuschlagen und dann einen  $SiO_2$ -Film 506 auf dem Isolationsfilm durch ein Plasma-CVD-Verfahren niederschlagen.

Dann wird eine obere Al-Legierungsleitung durch das übliche Verfahren gebildet. Denn nach Bildung eines Kontaktloches zum Bilden eines Kontaktes mit der Al-Legierungsleitung 503 in dem  $SiO_2$ -Film 506 wird ein Al-Legierungsfilm mit einer Dicke 0,4 bis 1,0  $\mu m$  zur Bildung der oberen Al-Legierungsleitung gebildet. Danach wird aus dem Al-Legierungsfilm unter Anwendung sowohl eines üblichen Belichtungsverfahrens als auch eines reaktiven Ionen-Ätzungsverfahrens ein Muster gebildet, unter Bildung der oberen Al-Legierungsleitung.

Nachdem ein  $SiO_2$ -Film mit einer Dicke von 0,5 bis 1,0  $\mu m$  durch ein Plasma-CVD-Verfahren gebildet ist, wird eine Anschlußfläche gebildet.

Die Halbleitervorrichtung (Probe), die auf diese Weise erhalten wurde, wurde zum Untersuchen der elektrischen Zuverlässigkeit davon getestet. Als Ergebnis wurde festgestellt, daß der Prozentsatz, der aufgrund der Spannungsmigration mit Mängeln behaftet war, um einen zweistelligen Wert im Vergleich zu der konventionellen Halbleitervorrichtung vermindert war.

Dieses Ergebnis kann der Tatsache zugeschrieben werden, daß, da der Isolationsfilm 505, der die Al-Legierungsleitung 503 kontaktiert, ein viskoser Isolationsfilm ist, selbst wenn der  $SiO_2$ -Film 506, der durch ein Plasma-CVD-Verfahren auf dem Isolationsfilm 505 gebildet ist, mit der üblichen thermischen Spannung versehen ist, irgendeine thermische Spannung, die auf die Al-Legierungsleitung 503 auferlegt werden kann, durch den viskosen Isolationsfilm 505 abgemildert wird.

Dieses Beispiel ist dadurch gekennzeichnet, daß der Isolationsfilm 505 mit einer Dicke von etwa 0,1 bis 0,5  $\mu m$  ebenfalls auf der oberen Fläche der Al-Legierungsleitung 503 gebildet wurde. Denn die obere Fläche ebenso wie die Seitenwände der Al-Legierungsleitung 503 waren vollständig von dem weichen Isolationsfilm 505 eingefasst.

Es wird vermutet, daß, weil die Halbleitervorrichtung derart aufgebaut ist, es möglich ist, irgendwelche thermische Spannungen von dem  $SiO_2$ -Film 506, der durch ein Plasma-CVD-Verfahren auf dem Isolationsfilm 505 gebildet ist, zu mildern, wodurch die Erzeugung einer Spannungsmigration unterdrückt wird.

Die Tatsache, daß der Zwischenschicht-Isolationsfilm nicht vollständig durch den Isolationsfilm 505 gebildet ist, ist ebenfalls eines der Merkmale dieser Erfindung. Die Erzeugung nicht nur der Spannungsmigration sondern ebenfalls der Elektromigration, wenn die Stromspannung erhöht wird, ist ebenfalls einer der Faktoren, der eine Verschlechterung der elektrischen Zuverlässigkeit der Al-Legierungsleitung induziert.

Als Gegenmaßnahme für das Unterdrücken der Erzeugung von Spannungsmigration wurde ein Verfahren unter Erzeugung einer Sperrschicht, die aus TiN besteht, auf der oberen und unteren Seite der Al-Legierungsleitung angewandt. Entsprechend dieser Struktur wandern, wenn eine große Spannung auf die Al-Legierungsleitung aufgedrückt wird, die Al-Atome in der Al-

Legierungsleitung in die Richtung, in die die Spannung aufgedrückt wird. Die Al-Atome, die zur Abwärtsseite gewandert sind, werden ein überflüssiges Atom für die Al-Legierungsleitung der Abwärtsseite. Da die obere und untere Fläche der Al-Legierungsleitung durch eine harte TiN-Sperrschicht bedeckt sind, werden die auf diese Weise gewanderten Al-Atome entlang einem schwachen Bereich des Isolationsfilmes in der Nähe der beiden Seiten der Al-Legierungsleitung akkumuliert (ein laterer kleiner Hügel). Wenn dieser laterale kleine Hügel als Ergebnis des Wachstums davon groß wird, kann er mit der benachbarten Al-Legierungsleitung kontaktiert werden, wodurch ein elektrischer Kurzschluß verursacht wird.

Wenn der Abstand, der zwischen den Al-Legierungsleitungen vorgesehen ist, vollständig mit dem weichen Isolationsfilm 505 gefüllt ist, kann der Widerstand gegen diesen kleinen lateralen Hügel schwach werden. Jedoch wurde bestätigt, daß dann, wenn der weiche Isolationsfilm 505 nur an einem begrenzten Bereich, der die Al-Legierungsleitung kontaktiert, niedergeschlagen ist, und der Rest des Raumes zwischen den Al-Legierungsleitungen mit dem konventionellen SiO<sub>2</sub>-Film 506, wie bei diesem Beispiel, gefüllt wird, der Widerstand gegenüber diesem lateralen kleinen Hügel nicht beeinträchtigt wird.

(Beispiel 5)

Fig. 8 zeigt einen Querschnitt, der eine Halbleitervorrichtung entsprechend einem fünften Beispiel dieser Erfindung erläutert.

In Fig. 8 bedeutet Bezugsziffer 701 ein Silicium-Substrat, das ein isoliertes Element trägt. Ein Siliciumdioxid-Film 702 wird auf der oberen Fläche des Silicium-Substrates 701 gebildet. Auf diesem Siliciumdioxid-Film 702 wird ein gewünschtes Muster aus Leitungen, d. h. Leitungen 703a, 703b und 703c niedergeschlagen. Diese Leitungen 703a, 703b und 703c werden elektrisch mit Elementen (nicht gezeigt), die auf der oberen Fläche des Substrates gebildet sind, durch Kontaktlöcher (nicht gezeigt), die in dem Siliciumdioxid-Film 702 gebildet sind, elektrischen verbunden.

Diese Leitungen 703a, 703b und 703c werden durch einen Isolationsfilm 704 bedeckt, der entsprechend dieser Erfindung gebildet ist. Eine Leitungsschicht 705 wird auf dem Isolationsfilm 704 gebildet und mit der Leitung 703b durch ein Durchgangsloch 706, das in dem Isolationsfilm 704 gebildet ist, verbunden. Das Material, das diese Leitungen 703a, 703b und 703c ausmacht, kann z. B. eine Al-1%, Si-0,5%, Cu-Legierung sein.

Fig. 9 zeigt eine schematische Ansicht einer Halbleiter-Herstellungsvorrichtung, die bei diesem Beispiel verwendet wurde. Die Halbleiter-Herstellungsvorrichtung ist für die Bildung des Isolationsfilmes 704 durch ein Kondensations-CVD-Verfahren geeignet.

Unter Bezugnahme auf Fig. 9 bezeichnet Bezugsziffer 601 einen Vakuumbehälter, an den eine Auslaßanlage (nicht gezeigt) über eine Auslaßöffnung 602 verbunden ist, um so zu ermöglichen, daß das Innere des Vakuumbehälters 601 auf ein hohes Vakuum eingestellt wird. Denn das Endvakuum des Vakuumbehälters 601 ist  $2 \times 10^{-7}$  Torr oder mehr. Die Auslaßanlage ist in Fig. 9 zur Vereinfachung der Erläuterung nicht gezeigt.

Ein Substrat-Befestigungstisch 603 zum Trag eines Substrates ist im Inneren des Vakuumbehälters 601 angeordnet, und ein Silicium-Substrat 604 ist auf dem Substrat-Befestigungstisch 603 vorgesehen.

Der Vakuumbehälter 601 ist mit verschiedenen Rohren zum Zuführen von verschiedenen Gasen in den Vakuumbehälter 601 verbunden. Denn ein Rohr 605 zum Zuführen von verschiedenen Arten von Verfahrensgasen wie Sauerstoffgas, Wasserstoffgas, Kohlenmonoxidgas oder Stickstoffgas und ein Reinigungsgas; ein Rohr 615 zum Zuführen eines organischen Silans wie TMS; und ein Rohr 630 zum Zuführen von Stickstoffgas sind mit dem Vakuumbehälter 601 verbunden. Das Rohr 605 ist z. B. aus rostfreiem Stahl hergestellt.

Das Rohr 605 zum Zuführen von verschiedenen Arten von Verfahrensgasen (der Einfachheit halber ist eine Gaszufuhrquelle von Fig. 9 weggelassen) ist über Ventile 606a bis 606i mit einem Massenflußsteuergerät 607a bis 607i verbunden, wie von oben bis unten in Fig. 9 gezeigt ist. Der distale Endbereich des Sauerstoff-Zuführrohres 605 ist mit einem Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-Rohr 611 verbunden.

Das Rohr 605 ist mit einem Ventil 608 ebenso wie mit einer Verbindung 609 versehen und mit einem Saphirrohr 611 verbunden, das über eine Verbindung 612 mit dem Vakuumbehälter 601 verbunden ist. Das Rohr 605 ist ebenfalls über Ventile 651 und 652 mit einem Ozonisator 653 verbunden. Wenn Ozon verwendet werden soll, wird das Ventil 608 geschlossen, und ein Ausgangsmaterialgas wird über das Ventil 652 zu dem Ozonisator 653 geführt. Das ozonhaltige Gas wird über das Ventil 652 zu dem Ventil 605 zurückgeführt. Als Ausgangsmaterialgas, das zu dem Ozonisator 653 geführt werden soll, kann Sauerstoffgas, ein gemischtes Gas, umfassend Sauerstoffgas und Stickstoffgas, oder ein gemischtes Gas, umfassend Sauerstoffgas und Kohlendioxidgas bevorzugt verwendet werden.

Das Saphirrohr 611 ist bevorzugt an einem mittleren Bereich davon mit einer Entladungselektrode 610 zum Erzeugen eines Plasmas durch Mikrowellenentladung (der Einfachheit halber sind eine Mikrowellenquelle und ein Mikrowellenzuführsystem in Fig. 9 weggelassen) vorgesehen. Eine Lichtquelle 654 zum Anregen eines Gases, das durch das Rohr geleitet wird, kann in der Nähe des Saphirrohres 611 befestigt sein. Für die Anregung von Licht, das in diesem Fall verwendet wird, können Ultraviolettstrahlen zum Induzieren des durchgeleiteten Gases, das in einen Elektronenzustand angeregt werden soll, bevorzugt sein.

Das Rohr 615 zum Zuführen von TMS (der Einfachheit halber ist eine TMS-Zufuhrquelle in Fig. 9 weggelassen) ist über ein Stoppventil 616, ein Massenflußkontrollgerät 617, ein Stoppventil 618 und einem Rohr 619 aus rostfreiem Stahl mit dem Vakuumbehälter 601 verbunden. Ein Nadelventil, das eine Flußrate genau steuern kann, kann anstelle des Massenflußsteuergerätes 617 verwendet werden.

Das durch das Rohr 630 zu führende Stickstoffgas (der Einfachheit halber wird eine Stickstoffgas-Zufuhrquelle aus Fig. 9 weggelassen) wird zum Einstellen des Druckes innerhalb des Vakuumbehälters 601, d. h. zum Wiedereinstellen des Innendruckes des Vakuumbehälters 601 auf atmosphärischen Druck, wenn das Substrat 604 in dem Vakuumbehälter 601 angeordnet oder daraus herausgenommen wird oder zum Verkürzen der Zeit, die zum Wiedereinstellen der gekühlten Temperatur des Silicium-Substrates 604 auf Raumtemperatur erforderlich ist, verwendet. Das Stickstoffgas kann zum Einstellen des Innendruckes des Vakuumbehälters 601 beim Abscheiden eines Isolationsfilmes auf dem Substrat 604 verwendet werden. Das Rohr 630 wird über ein Ventil 631, ein Massenflußsteuergerät 632, ein Ventil 633 und ein Rohr 634 mit dem Vakuumbehälter 601



verbunden.

Der Substrat-Befestigungstisch 603 ist mit Kupferrohren 635a und 635b zum Kühlen des Substrat-Befestigungstisches 603 versehen (das Kupferrohr 635a bedeutet ein Rohr, das an der Gaseinflußseite angeordnet ist, während das Kupferrohr 635b ein Rohr bedeutet, das an der Gasausflußseite angeordnet ist), wobei diese Kupferrohre 635a und 635b in dem Substrat-Befestigungstisch 603 verborgen sind. Diese Kupferrohre 635a und 635b sind mit einem Stickstoff-Zuführsystem zum Zuführen eines gekühlten Stickstoffgases oder eines Stickstoffgases mit Raumtemperatur verbunden (der Einfachheit halber sind die Stickstoffgas-Kühlanlage und Stickstoffgas-Zuführanlage in Fig. 9 nicht gezeigt).

Der Substrat-Befestigungstisch 603 ist ebenfalls mit einem Gehäuseerwärmer 636 versehen, der als Erwärmungsquelle zum Erwärmen des Silicium-Substrates 604 auf eine gewünschte Temperatur fungiert (die Energiequelle für diesen Gehäuseerwärmer 634 ist in Fig. 9 nicht gezeigt).

Die Wand des Vakuumbehälters 601 ist aus einer Zweischichtstruktur gebildet und mit einer Erwärmungsquelle 641 und einem Wärmeisulationsmaterial 642 zum Erwärmen der Wand des Vakuumbehälters 601 ausgerüstet, um so eine gleichmäßige Gastemperaturverteilung in dem Innenraum des Vakuumbehälters 601 zu halten (der Einfachheit halber ist die Energiequelle für diese Erwärmungsquelle 641 nicht in Fig. 9 gezeigt).

Eine Lichtquelle 655, die zum Erhöhen der Viskosität des Bereiches in der Nähe der Oberfläche des Isolationsfilmes verwendet wird, und eine Mikrowellen-Erzeugungsenergiequelle 656 sind in dem Vakuumbehälter 601 befestigt. Als Lichtquelle 655 kann irgendeine von einer Infrarotquelle mit einer Wellenlänge von 2,6 bis 3,3  $\mu\text{m}$ , einer Ultraviolett-Lichtquelle 142 mit einer Wellenlänge von 308 nm oder einer Lichtquelle für das schnelle Erhöhen der Temperatur eines Substrates effektiv verwendet werden. Diese Lichtquelle 655 und Mikrowellenerzeugungsenergiequelle 656 können alleine oder in irgendeiner Kombination, einschließlich einer Vielzahl von diesen verwendet werden.

Als nächstes wird ein Verfahren zur Bildung eines Isolationsfilmes entsprechend dieser Erfindung unter Bezugnahme auf die Fig. 9 und 10A bis 10C erläutert, wobei das Verfahren dem tatsächlichen Vorgang nachgebildet ist.

Zunächst wurde das Innere des Vakuumbehälters 601 wieder auf atmosphärischen Druck eingestellt, und ein Substrat 604 wurde auf einem Substrat-Befestigungstisch 603 befestigt. In diesem Fall kann eine evakuierte Ersatzkammer neben dem Vakuumbehälter 601 über ein Gate-Ventil vorgesehen sein, um so zu ermöglichen, daß das Silicium-Substrat 604 automatisch zu dem Vakuumbehälter 601 transferiert wird, indem ein Roboterarm verwendet wird. Das in diesem Fall verwendete Substrat 604 war ein Silicium-Substrat, dessen obere Oberfläche mit einem Siliciumdioxidfilm 702 versehen war, auf dem Leitungen 703a, 703b und 703c mit einem gewünschten Muster weiterhin gebildet waren, wie in Fig. 10A gezeigt ist.

Dann wurde das Innere des Vakuumbehälters 601 über die Auslaßöffnung 602 auf ein Endvakuum, das ein Vakuum von wenigstens  $1 \times 10^{-7}$  Torr in diesem Fall sein sollte, eingestellt. Dann konnte ein gekühltes Stickstoffgas durch eine Passage zwischen dem Kupferrohr 635a und dem Kupferrohr 635b fließen, wodurch der Substrat-Befestigungstisch 603 auf eine bestimmte Temperatur von etwa  $-100$  bis  $-25^\circ\text{C}$  gekühlt wurde.

Wenn der Substrat-Befestigungstisch 603 auf den oben erwähnten Bereich herabgeköhlt war, war die Temperatur des Silicium-Substrates 604 (Substrat-Temperatur)  $-80$  bis  $-25^\circ\text{C}$ . Nach der Bestätigung der Stabilisierung der Substrat-Temperatur bei einer gewünschten Temperatur wurde das Massenflußsteuergerät 617 für TMS auf 1 bis 100  $\text{cm}^3/\text{min}$  eingestellt, und die Stoppventile 616 und 618 wurden geöffnet, zum Einführen von TMS in den Vakuumbehälter 601.

Danach wurde das Massenflußsteuergerät 607g für das Sauerstoffgas auf 1 bis 1000  $\text{cm}^3/\text{min}$  eingestellt und die Stoppventile 606g und 608 wurden geöffnet, zum Einführen von Sauerstoffgas in den Vakuumbehälter 601.

In diesem Fall kann der Druck in dem Vakuumbehälter 601 auf etwa 10 mTorr bis 500 Torr durch Wechseln der Konduktanz der Auslaßöffnung 602 eingestellt werden, wobei der Partialdruck 2 bis 200 Torr für TMS und 2 bis 400 Torr für Sauerstoffgas ist.

Nach der Stabilisierung der Flußrate des Sauerstoffgases wurde eine Mikrowelle mit etwa 100 Watt bis 5 kWatt aufgedrückt, um dadurch die Mikrowellenentladung von Sauerstoffgas zu induzieren. Als Ergebnis wurde ein Isolationsfilm 704, bestehend aus einem Reaktionsprodukt zwischen dem Sauerstoffplasma und TMS, auf dem Silicium-Substrat 701 derart niedergeschlagen, daß die Leitungen 703a bis 703c bedeckt wurden, wie in Fig. 10B gezeigt ist.

Die Beendigung des oben erwähnten Niederschlages wurde durch die folgende Vorgehensweise durchgeführt.

Zunächst wurde der Ausstoß der Mikrowellenenergie abgeschaltet, um die Mikrowellenentladung zu stoppen. Dann wurden die Stoppventile 616 und 618 geschlossen, zum Stoppen der Zufuhr von TMS, und danach wurden die Ventile 606g und 608 geschlossen, zum Stoppen der Zufuhr von Sauerstoffgas. Dann wurde die Zufuhr des kühlenden Stickstoffgases gestoppt, das von dem Rohr 635a zu dem Rohr 635b floß, und ein Stickstoffgas mit Raumtemperatur konnte statt dessen dadurch fließen.

In diesem Fall wurde das Massenflußsteuergerät 632 für Stickstoffgas auf 1 bis 10 l/min eingestellt, und die Ventile 631 und 632 wurden geöffnet, zum Einführen von Stickstoffgas von dem Rohr 634 in den Vakuumbehälter 601, um so das Innere des Vakuumbehälters 601 auf einen Druck in der Nähe von atmosphärischen Druck wieder einzustellen, und gleichzeitig wurde die Temperatur des Silicium-Substrates 604 erneut auf Raumtemperatur angehoben.

Schließlich wurde das Innere des Vakuumbehälters 601 auf atmosphärischen Druck eingestellt, und das Silicium-Substrat 604 wurde aus dem Vakuumbehälter 601 herausgenommen. Falls gewünscht, kann das nächste Silicium-Substrat zu diesem Zeitpunkt auf dem Substrat-Befestigungstisch 603 befestigt werden. Eine Folge der Vorgehensweise für die Bildung eines Zwischenschicht-Isolationsfilmes wurde auf diese Weise vollendet.

Typische Verfahrensbedingungen bei der Bildung des oben erwähnten Isolationsfilmes 704 sind: 20  $\text{cm}^3/\text{min}$  Flußrate TMS, 200  $\text{cm}^3/\text{min}$  Flußrate Sauerstoffgas, 0,2 Torr Niederschlagsdruck, 200 Watt Mikrowellenleistung und  $-30^\circ\text{C}$  Substrat-Temperatur. Bei diesen Filmbildungsbedingungen ist die Niederschlagsrate des Isolationsfilmes 704 etwa 0,5  $\mu\text{m}/\text{min}$ .

Bei diesem Beispiel wurde die Entladungszeit auf 40 min eingestellt, und die Filmdicke des erhaltenen Isolationsfilmes 704 war 2  $\mu\text{m}$ . Die Viskosität dieses Isola-



tionsfilm 704 war weniger als 10 000 cp und der Isolationsfilm 704 war so weich, daß er mit einer Pinzette leicht perforiert werden konnte.

Wie in Fig. 10C gezeigt ist, wurde anschließend ein Durchgangsloch 706 in dem Isolationsfilm 704 derart geöffnet, daß er mit der Leitung 703b in Verbindung stand. Dann wurden die folgenden Vorgehensweisen durchgeführt, um z. B. die Viskosität eines Bereiches in der Nähe der Oberfläche des Isolationsfilmes 704 selektiv zu erhöhen.

Das Substrat 701 wurde erneut in dem Vakuumbehälter 601 angeordnet, der in Fig. 9 gezeigt ist. Dann wurde die Flußrate an Wasserstoffgas auf 150 cm<sup>3</sup>/min durch das Massenflußsteuergerät 607f eingestellt. Danach wurde das Ventil 606f geöffnet, eine Hochfrequenzwelle mit 200 W wurde auf die Entladungselektrode 610 aufgedrückt, ein Wasserstoffgasplasma wurde über das Saphirrohr 611 in den Vakuumbehälter 601 eingeführt, und das Substrat 701 wurde mit einem Erwärmer 636 bis auf eine Temperatur von 300°C z. B. erwärmt. Auf diese Weise wurde das Substrat 701 in dieser Wasserstoffgas-Plasmaatmosphäre z. B. 10 min lang gehalten. Der Innendruck im Inneren des Vakuumbehälters 601 war z. B. 1 Torr.

Dann wurde Stickstoffgas in das Kupferrohr 635a zu dem Kupferrohr 635b eingeführt, und gleichzeitig wurde Stickstoffgas von dem Rohr 634 in den Vakuumbehälter 601 auf gleiche Weise wie oben erläutert, eingeführt. Als sich die Temperatur des Substrates ungefähr auf Raumtemperatur erhöht hatte, wurde das Substrat 701 aus dem Vakuumbehälter 601 herausgenommen.

Der Isolationsfilm 704, dessen Oberflächenschicht der oben erwähnten Behandlung zur Erhöhung der Viskosität davon unterworfen wurde, wurde so hart, daß er durch eine Pinzette nicht leicht durchlöchert werden konnte, was eine Viskosität von 10 000 cp oder mehr anzeigt.

Schließlich wurde die Leitung 703b, die an dem Boden des Durchgangsloches 706 vorgesehen war, mit Hilfe einer geeigneten Waschbehandlung gereinigt, und dann wurde eine metallische Leitung, aus der eine Leitung 705 gebildet werden sollte, auf dem Isolationsfilm 704 durch ein Magnetron-Bedampfungsverfahren niedergeschlagen. Anschließend wurde die metallische Schicht durch Anwendung eines Belichtungsverfahrens und eines reaktiven Ionen-Ätzungsverfahrens bearbeitet, zur Bildung der Leitung 705, die mit der Leitung 703b elektrisch verbunden war, unter Erhalt einer Halbleitervorrichtung, die in Fig. 8 gezeigt ist.

Der Bereich der Halbleitervorrichtung, die entsprechend diesem Beispiel erhalten ist, und ebenfalls der Bereich der Halbleitervorrichtung, die entsprechend dem konventionellen Verfahren gebildet ist, d. h. die Oberflächenschicht des Isolationsfilmes davon war nicht der oben erwähnten Viskositätserhöhungsbehandlung unterworfen, wurden unter Verwendung eines Raster-Elektronenmikroskopes (SEM) untersucht.

Als Ergebnis wurde festgestellt, daß die Querschnittsform des Isolationsfilmes 704 der Halbleitervorrichtung entsprechend diesem Beispiel in jeglicher Hinsicht, einschließlich der oberen Fläche und der Seitenwand des Durchgangsloches 706 ausgezeichnet war. Weiterhin wurde eine scharfe Grenzfläche, die eine Änderung der Viskosität anzeigt, an einem inneren Bereich des Isolationsfilmes 704 beobachtet, die etwa 0,1 µm von der Oberfläche des Isolationsfilmes 704 nach innen und etwa 0,05 µm von der Seitenwand des Durchgangsloches 706 nach innen lokalisiert war. Die Rille zwischen den

Leitungen, ebenso wie die Stufenbereiche der Leitungen waren vollständig mit dem Isolationsfilm 704 ohne Erzeugung von irgendwelchen Löchern darin bedeckt.

Im Gegensatz dazu wurden feine Irregularitäten an der oberen Fläche des Isolationsfilmes 704 und an der Seitenwand des Durchgangsloches 706 der Halbleitervorrichtung, die entsprechend dem konventionellen Verfahren hergestellt war, aufgrund der Tatsache gefunden, daß die oben erwähnte Viskositätserhöhungsbehandlung bei dem Isolationsfilm 704 ebenso wie an der Seitenwand des Durchgangsloches 706 nicht durchgeführt wurde, obwohl die Rille zwischen den Leitungen ebenso wie die Stufenbereiche der Leitungen vollständig mit dem Isolationsfilm 704 bedeckt waren. Da die Viskosität des Isolationsfilmes 704 selbst gering war, wurde festgestellt, daß die Form des Durchgangsloches 706 auch deformiert war.

Wenn ein Test bezüglich der elektrischen Eigenschaften mit der Halbleitervorrichtung dieser Erfindung ebenso wie mit der konventionellen Halbleitervorrichtung durchgeführt wurde, wurde festgestellt, daß die Lebensdauer der Leitung der Halbleitervorrichtung dieser Erfindung um etwa 10% länger war als die der konventionellen Halbleitervorrichtung.

Die Gründe für diese Differenz der Lebensdauer der Leitungen kann wie folgt erläutert werden. Die Gründe die verkürzte Lebensdauer der Leitung der konventionellen Halbleitervorrichtung kann der Verschlechterung verschiedener Aspekte zugeschrieben werden, die durch das bei dem Bedampfungsverfahren verwendete Plasma wie das Magnetron-Bedampfungsverfahren verursacht wird; z. B. eine Verschlechterung, die der Erzeugung eines Verluststromes zugeschrieben werden kann, der von der Irregularität der Oberfläche des Isolationsfilmes 704 oder von der Abspaltung der Bindung der molekularen Struktur resultiert, die den Isolationsfilm 704 ausmacht oder eine Verschlechterung, die den mit Mängeln behafteten Kontakt der Leitung zugeschrieben werden kann, der von der Deformation der Durchgangslocher resultiert. Dagegen wird bei diesem Beispiel angenommen, daß diese Phänomene durch die Viskositätserhöhungsbehandlung, die an der Oberfläche des Isolationsfilmes 704 durchgeführt wird, unterdrückt werden. Es wird erwartet, daß die Verbesserung der Zuverlässigkeit der Leitung durch die strukturelle Verbesserung eines Isolationsfilmes, wie oben beschrieben, zunehmend deutlich werden kann, wenn die Miniaturisierung des Halbleiterelementes weiter fortschreitet.

Für den Vergleich der Qualität des Isolationsfilmes, erhalten gemäß dieser Erfindung, mit der Qualität des konventionellen Isolationsfilmes wurden diese Isolationsfilme auf einer flachen Oberfläche eines Silicium-Substrates gebildet.

Als Probe für den konventionellen Isolationsfilm wurde ein Isolationsfilm entsprechend dem konventionellen Kondensations-CVD-Verfahren (Viskosität weniger als 10 000 cp) gebildet. Auf der anderen Seite wurde als Probe für den Isolationsfilm entsprechend diesem Beispiel ein Isolationsfilm entsprechend dem konventionellen Kondensations-CVD-Verfahren gebildet, und dann wurde die oben erwähnte Viskositätserhöhungsbehandlung mit dem Isolationsfilm für eine lange Zeit durchgeführt, um dadurch die Viskosität des größten Teils des Isolationsfilmes zu erhöhen (Viskosität mehr als 10 000 cp).

Dann wurden diese Isolationsfilme durch eine Fourier-Transform-Infrarot-Analyse vom Permeationstyp, eine Atom-Zusammensetzungsanalyse, bestehend aus

einer Kombination aus einem chemischen Naßverfahren und einer Atom-Absorptionsanalyse oder Massenspektroskopie, und einen Hygroskopizitätstest untersucht. Als Ergebnis wurde festgestellt, daß diese Isolationsfilme die gleiche Qualität aufwiesen, soweit die ermittelbare Genauigkeit dieser Analysen betroffen ist.

Denn die Haupt-Peaks, die bei der Infrarotspektroskopieanalyse beobachtet werden konnten, waren ein Si-O-Si-Streck-Vibrations-Peak und ein Si-CH<sub>3</sub>-Streck-Vibrations-Peak. Das Intensitätsverhältnis des Si-CH<sub>3</sub>-Vibrations-Peaks zu dem Si-O-Si-Peak war in allen Isolationsfilmen 10 bis 50%. Wenn das Endvakuum des Vakuumbehälters 201 niedrig war, wurde der H<sub>2</sub>O-Absorptions-Peak in keinem dieser Isolationsfilme beobachtet, was anzeigt, daß das Endvakuum des Vakuumbehälters 201 möglichst hoch eingestellt werden sollte.

Wenn alle Isolationsfilme, die auf dem Silicium-Substrat niedergeschlagen waren, mit Hilfe eines chemischen Naßverfahrens aufgelöst waren und die resultierende Lösung durch eine Atom-Absorptionsanalyse und eine Massenspektrometrie untersucht wurde, wurde festgestellt, daß das Zusammensetzungsverhältnis zwischen dem Kohlenstoff (C) und Silicium (Si) 1,1 : 1 bis 20 : 1 in allen dieser Isolationsfilme war, was einen höheren Kohlenstoff-Gehalt im Vergleich zu Silicium bei all diesen Isolationsfilmen anzeigt.

Im Hinblick auf die Auswertung der Hygroskopizität dieser Isolationsfilme, selbst wenn diese Isolationsfilme zwei Tage lang einer Luftatmosphäre ausgesetzt waren, wurde bei allen dieser Isolationsfilme nahezu keine Wasserabsorption festgestellt. Wenn diese Isolationsfilme im Vakuum auf bis 650°C erwärmt wurden und die Gase, die davon freigesetzt wurden, unter Verwendung eines Massenspektrometers gemessen wurden, um die thermische Stabilität dieser Isolationsfilme zu untersuchen, wurde eine kleine Menge an H<sub>2</sub>O bei einer Temperatur von 300°C festgestellt, und in einem Temperaturbereich von 300 bis 650°C wurden nur Peaks ermittelt, die C und H beinhalteten, d. h. ein Peak aus H<sub>2</sub>O wurde in diesem Temperaturbereich überhaupt nicht ermittelt.

Aus diesen Ergebnissen ist ersichtlich, daß selbst wenn die oben erwähnte Viskositätserhöhungsbehandlung zur Erhöhung nur der Oberflächenschicht eines Isolationsfilmes an dem Isolationsfilm, der mit Hilfe eine Kondensations-CVD-Verfahrens niedergeschlagen ist, durchgeführt wird, die Qualität des Isolationsfilmes insgesamt nicht wesentlich verändert wird.

Daher werden die ausgezeichneten Qualitäten, die einem Isolationsfilm inhärent sind, der durch das konventionelle CVD-Verfahren gebildet ist, d. h. eine niedrige Dielektrizitätskonstante und eine niedrige Hygroskopizität der Isolationsfilmes nicht verschlechtert, selbst wenn die Viskosität der Oberflächenschicht des Filmes erhöht wird. Im Gegensatz dazu kann gesagt werden, daß dann, wenn die oben erwähnte Viskositätserhöhungsbehandlung an dem Isolationsfilm durchgeführt wird, die Bindung zwischen den Molekülen an der Oberflächenschicht des Filmes verstärkt werden, so daß die Dielektrizitätskonstante und Hygroskopizität des Isolationsfilmes weiterhin erniedrigt werden können.

Die Tatsache, daß nur die Oberflächenschicht des Isolationsfilmes eine hohe Viskosität aufweist und der Innenbereich des Isolationsfilmes bei einer niedrigen Viskosität gehalten wird, ist als Charakteristikum für einen Isolationsfilm zwischen Leitungsschichten (d. h. einen Zwischenschicht-Isolationsfilm) sehr bevorzugt. Denn wenn die Viskosität der Oberflächenschicht des Isola-

tionsfilmes hoch ist, werden die Lokalisierung ebenso wie die Form eines Durchgangsloches, das in dem Isolationsfilm selektiv gebildet wird, stabilisiert. Weiterhin kann irgendeine Schädigung eines Isolationsfilmes durch ein Bedampfungsplasma bei der Bildung einer metallischen Leitungsschicht durch ein Magnetronbedampfen nach der Bildung des Isolationsfilmes effektiv vermieden werden, wenn die Viskosität der Oberflächenschicht des Isolationsfilmes hoch ist. Daher kann die Erzeugung einer Verlustspannung zwischen einem Paar Leitungen durch den Isolationsfilm effektiv verhindert werden.

Wenn auf der anderen Seite die Viskosität des Innenbereiches des Isolationsfilmes gering ist, gibt es keine Möglichkeit für den Isolationsfilm, der darunter liegenden Leitungsschicht eine Spannung zu geben, und gleichzeitig werden die Stufenbedeckungseigenschaft und die Oberflächenflachheit des Isolationsfilmes verbessert. Es ist in diesem Fall ebenfalls möglich, die Abschaltung der Leitung aufgrund einer Spannungsmigration zu verhindern.

Wie oben erläutert ist die oben erwähnte Viskositätserhöhungsbehandlung zur Erhöhung der Viskosität nur an der Oberflächenschicht des Isolationsfilmes, der durch ein Kondensations-CVD-Verfahren gebildet ist, ein sehr effektives Verfahren für Erhalt eines Isolationsfilmes, der eine niedrige Dielektrizitätskonstante, eine niedrige Hygroskopizität und eine ausgezeichnete Stufenbedeckungseigenschaft aufweist, und ist durch Plasma und dgl. schwer zu beeinträchtigen.

Dieses Beispiel kann auf verschiedene Weisen modifiziert werden, wie nachfolgend erläutert.

Z.B. kann die oben erwähnte Viskositätserhöhungsbehandlung zur Erhöhung der Viskosität nur an der Oberfläche des Isolationsfilmes 704 durchgeführt werden, unmittelbar bevor das Substrat 701 aus dem Vakuumbehälter 201 nach dem Niederschlagen des Isolationsfilmes 704 durch ein Kondensations-CVD-Verfahren herausgenommen wird. Wenn diese Viskositätserhöhungsbehandlung auf diese Weise durchgeführt wird, kann irgendeine Änderung der Lokalisierung und der Form des Durchgangsloches 706 aufgrund irgendeiner Deformation des Isolationsfilmes 704 während der Bildung des Durchgangsloches 706 in dem Isolationsfilm 704 effektiv verhindert werden.

Weiterhin sollte diese Viskositätserhöhungsbehandlung zur Erhöhung der Viskosität nur der Oberflächenschicht des Isolationsfilmes 704 nach dessen Abscheiden durch ein Kondensations-CVD-Verfahren bevorzugt aufeinanderfolgend durchgeführt werden, ohne den Vakuumzustand abubrechen. Der Grund liegt darin, daß dann, wenn der Isolationsfilm 704 einer Luftatmosphäre unmittelbar nach dessen Abscheiden ausgesetzt ist, die Oberfläche des Isolationsfilmes 704, der noch eine niedrige Viskosität hat, leicht feine Teilchen und Wasser adsorbieren kann, was möglicherweise einen negativen Einfluß auf die Qualität des Isolationsfilmes 704 ebenso der Leitung 706, die auf dem Isolationsfilm 704 gebildet werden soll, ausübt.

Weiterhin soll diese Viskositätserhöhungsbehandlung zum Erhöhen der Viskosität nur der Oberfläche des Isolationsfilmes 704 nach dem Niederschlag davon durch ein Kondensations-CVD-Verfahren bevorzugt in dem gleichen Vakuumbehälter durchgeführt werden, um die Deformation des Isolationsfilmes 704 während des Transfers davon zu vermeiden und irgendwelche Adsorption von Stäuben im Inneren der Anlage zu vermeiden.

Entsprechend diesem Beispiel wurde TMS mit Sauerstoffradikalen in einer Dampfphase reagiert, und das Reaktionsprodukt kondensierte auf einem Substrat, unter Bildung eines Isolationsfilmes (ein Kondensations-CVD). Es wird angenommen, daß dieses Reaktionsprodukt ein Polymerisationsreaktionsprodukt ist, das sich von einem organischen Silan und Sauerstoff-Radikalen ableitet. Daher ist es möglich, andere Arten von organischen Silan anstelle von TMS zu verwenden. Beispiele eines solchen organischen Silans sind Tetraethylsilan, Tetramethoxysilan, Tetraethoxysilan, Hexamethyldisiloxan und Tetraisopropoxysilan. Als Sauerstoff-Radikalerzeugungsquelle, die mit dem organischen Silan reagiert werden kann, ist es möglich, ein Sauerstoffatomhaltiges Gas anstelle von  $O_2$  zu verwenden. Beispiele eines solchen Gases umfassen Ozon,  $CO$ ,  $CO_2$ ,  $NO$ ,  $N_2O$ ,  $NO_2$ ,  $H_2O$  und  $H_2O_2$ .

Um die Viskosität der Oberfläche des Isolationsfilmes 704, der mit Hilfe eines Kondensations-CVD-Verfahrens gebildet ist, zu erhöhen, wurde bei diesem Beispiel eine Sauerstoff-Radikalatmosphäre verwendet.

Es wird vermutet, daß diese Erhöhung der Viskosität durch die Reaktion von aktiven Anteilen in einem Polymerprodukt, das sich von einem organischen Silan und sauerstoffreichen Radikalen (z. B.  $(Si(R_1R_2)-O)_n$ , worin  $R_1$  und  $R_2$  jeweils eine Seitenkette sind) ableitet, das den Isolationsfilm 704 ausmacht, wie einer Seitenkette, dem Si-Ende und O-Ende verursacht wird, d. h. eine Polymerisations- oder Vernetzungsreaktion wird unter den Molekülen, die den Isolationsfilm ausmachen, durch diese aktiven Bereiche induziert, wodurch die Struktur des Isolationsfilmes gestärkt wird.

Diese Verstärkung des Isolationsfilmes durch eine derartige Vernetzungsreaktion trägt ebenfalls zur Verbesserung der Erniedrigung der Dielektrizitätskonstante und Hygroskopizität des Isolationsfilmes bei, die für den Isolationsfilm vom technologischen Gesichtspunkt bei der Herstellung einer Halbleitervorrichtung erforderlich sind.

Im Hinblick auf den oben erwähnten Mechanismus kann es möglich sein, andere Arten von Ausgangsmaterialien anstelle der Sauerstoff-Radikale bei der oben erwähnten Viskositätssteigerungsbehandlung zu verwenden, um selektiv die Viskosität der Oberflächenschicht des Isolationsfilmes 704 zu erhöhen.

Als Mittel zum Induzieren einer Vernetzungsreaktion ist es möglich, die Viskosität der Oberflächenschicht des Isolationsfilmes 704, der durch ein Kondensations-CVD-Verfahren gebildet ist, zu erhöhen, ein Mittel anzuwenden, das in der Lage ist, einen aktiven Keim, der ein Sauerstoffatom enthält, zu der Oberflächenschicht des Isolationsfilmes 704 zu führen. Z.B. kann ein Plasma aus einer Gasatmosphäre, umfassend ein Molekül, das Sauerstoffatome einschließt, oder Ozon verwendet werden.

Beispiele eines Moleküls, das Sauerstoffatome enthält, das in diesem Fall verwendet werden kann, sind solche, die sich durch die gleichen Arten von Atomen zusammensetzen, wie sie in dem Isolationsfilm 704 vorhanden sind (wie  $CO$  und  $CO_2$ ) oder solche, die Atome enthalten, die in dem Isolationsfilm 704 existieren, und Atome, die von dem Isolationsfilm 704 dissoziiert werden können ( $NO$ ,  $N_2O$ ,  $NO_2$ ,  $H_2O$  und  $H_2O_2$ ).

Es ist ebenfalls möglich, Wasserstoff-Radikale zur Erhöhung der Viskosität der Oberflächenschicht des Isolationsfilmes 704 anzuwenden. Es wird vermutet, daß diese Erhöhung der Viskosität in diesem Fall durch die Entfernung der Bindungen  $R_1-Si$  und  $R_2-Si$  von dem

Si-O-Netzwerk des Moleküls (z. B.  $(Si(R_1R_2)-O)_n$ , worin  $R_1$  und  $R_2$  jeweils eine Seitenkette sind), das den Isolationsfilm 704 ausmacht, durch Umwandeln dieser Bindungen in  $R_1-H$  bzw.  $R_2-H$  verursacht wird, wodurch eine Reaktion in den Si-O-Netzwerken induziert wird, wodurch die chemische Bindung in dem Isolationsfilm verstärkt wird.

Es ist ebenfalls möglich, die Viskosität der Oberflächenschicht des Isolationsfilmes 704 durch Förderung der Reaktion von spezifischen funktionellen Gruppen in dem Isolationsfilm 704 durch Induktion einer Vibrationsanregung der funktionellen Gruppen zu erhöhen. Bevorzugt kann dies durch die Anwendung eines Anregungslichtes für die OH-Bindung, die in dem Isolationsfilm 704 in einer geringen Menge vorhanden ist, bewirkt werden, und es wird angenommen, daß dies ein Grund der niedrigen Viskosität des Filmes ist. Das Licht, das für die Erhöhung der Viskosität des Filmes effektiv war, war ein Infrarotlicht mit einer Wellenlänge von etwa 2,6 bis 3,3  $\mu m$ , das der Absorptionswellenlänge der OH-Bindung entspricht. Dieses Infrarotlicht war bei der Anregung der OH-Bindungen, die hauptsächlich in Seitenketten von  $R_1$  und  $R_2$  existieren, effektiv. Die Verwendung eines Infrarotlichtes mit einer Wellenlänge von 3,3 bis 3,5  $\mu m$  war ebenfalls für die Erhöhung der Viskosität des Isolationsfilmes 704 effektiv.

Es ist ebenfalls möglich, die Viskosität der Oberflächenschicht des Isolationsfilmes 704 durch Bestrahlen von Ultraviolettlicht auf den Isolationsfilm 704 zu erhöhen, um so den Elektronenzustand der Moleküle, die den Isolationsfilm 704 ausmachen anzuregen. Insbesondere war die Verwendung von Ultraviolettstrahlen mit einer Wellenlänge von 142 bis 308 nm am meisten effektiv. In diesem Fall wurde eine Excimer-Lampe als Lichtquelle verwendet. Jedoch können andere Arten der Lichtquelle ebenfalls verwendet werden.

Es ist ebenfalls möglich, die Viskosität der Oberflächenschicht des Isolationsfilmes 704 durch Erwärmen nur der Oberflächenschicht des Isolationsfilm 704 zu erhöhen. Wenn z. B. ein Substrat, das den Isolationsfilm 704 mit einer niedrigen Viskosität trägt, einer Mikrowelle ausgesetzt wird, wird das Wassermolekül, das in einer geringen Menge in der Oberflächenschicht des Isolationsfilmes existiert, angeregt, wodurch nur die Oberfläche des Isolationsfilmes 704 erwärmt und die Vernetzungsreaktion zwischen den Molekülen, die den Isolationsfilm 704 ausmachen, gefördert wird.

Die in diesem Fall anzuwendende Atmosphäre sollte bevorzugt eine sein, die die Vernetzungsreaktion nicht behindert, wie eine Inertgasatmosphäre (wie eine Stickstoffgas- oder Argongasatmosphäre) oder eine Atmosphäre mit vermindertem Druck. Alternativ kann eine Argongasatmosphäre, umfassend Sauerstoffatom, verwendet werden, um die meisten der aktiven Keime zu erzeugen, die Sauerstoffatome enthalten, die durch eine Mikrowelle zur Förderung der Vernetzungsreaktion erzeugt werden sollen.

Es ist ebenfalls möglich, eine Hochkeim-Temperatursteueranlage zu verwenden, die z. B. mit einer Infrarot-Wärmelampe versehen ist. Wenn in diesem Fall die Temperatur-Erhöhungsgeschwindigkeit zu gering ist, wird nicht nur die Oberfläche, sondern ebenfalls das Innere des Isolationsfilmes 704 erwärmt, wodurch eine Vernetzungsreaktion des Inneren des Isolationsfilmes 704 verursacht wird. Die Vernetzung des Inneren des Isolationsfilmes 704 ist unerwünscht, da irgendeine Spannung in dem Isolationsfilm 704 zu den darunterliegenden Leitungen 703a bis 703c übertragen werden

kann.

Im Hinblick auf die spezifische Wärmekapazität und Wärmeleitungsgeschwindigkeit des Isolationsfilmes 704 und der Temperaturabhängigkeit der Vernetzungsreaktion ist eine Erwärmungsrate von 10°C/min oder mehr erforderlich. Die Endtemperatur sollte bevorzugt etwa 450°C bis 700°C sein. Wenn das Substrat auf diese Endtemperatur erwärmt wird, sollte die Temperatur bevorzugt unmittelbar auf 450°C oder weniger erniedrigt und bei dieser Temperatur gehalten werden, um irgendwelche Deformationen der Leitungen 703a bis 703c zu vermeiden.

Die Verfahrensbedingungen wie die Behandlungstemperatur, Gasdruck, Gasflußrate, Entladungsausstoß, Intensität des Lichtes, die Wellenlänge des Lichtes, Behandlungszeit oder die Rate der Erhöhung oder Verminderung der Temperatur bei der oben erwähnten Behandlung zur Erhöhung der Viskosität der Oberflächenschicht des Isolationsfilmes 704 können angemessen in Abhängigkeit von verschiedenen Faktoren wie dem Ausgangsmaterial und der Viskosität des Isolationsfilmes 704, der Tiefe der Schicht mit erhöhter Viskosität und der gewünschten Viskosität des Isolationsfilmes 704 modifiziert werden. Es ist ebenfalls möglich, eine Vielzahl von Behandlungsverfahren zu kombinieren.

Obwohl Fig. 9 ein Beispiel für eine Anlage für die Durchführung von verschiedenen Verfahren zum Niederschlag eines Isolationsfilmes und zur Erhöhung der Viskosität der Oberflächenschicht des Isolationsfilms zeigt, kann eine Anlage, die nur einen Teil der Konstruktion, die in Fig. 9 gezeigt ist, verwendet, je nach Bedarf verwendet werden. Z.B. kann der Bereich der Konstruktion, der zur Verwendung der Erhöhung der Viskosität der Oberflächenschicht des Isolationsfilms angepaßt ist, von dem Bereich getrennt werden, der zur Verwendung für den Niederschlagsschritt des Isolationsfilmes angepaßt ist, und eine Anlage, umfassend einen dieser Bereiche, kann je nach Bedarf verwendet werden.

Bei diesem Beispiel wurde ein Silicium-Substrat verwendet, aber andere Arten von Substraten wie ein GaAs-Substrat, ZnSe-Substrat oder ein SOI-Substrat können ebenfalls anstelle des Silicium-Substrates verwendet werden.

Obwohl der Schritt der selektiven Bildung eines Kontaktloches in dem Isolationsfilm 704 unter Verwendung einer getrennten Anlage durchgeführt wurde, kann die Sequenz der Schritte, einschließlich dem Schritt des Niederschlags eines Isolationsfilmes, dem Schritt der Erhöhung der Viskosität der Oberflächenschicht eines Isolationsfilms und der Schritt der Bildung eines Kontaktloches kontinuierlich ohne Abbruch des Vakuumzustandes in einer geeigneten Anlage durchgeführt werden. Die Folge dieser Schritte kann in dem gleichen Vakuumbehälter durchgeführt werden.

Wenn ein Verfahren zur Erhöhung der Viskosität der Oberfläche des Isolationsfilmes 704 mit einer niedrigen Viskosität ebenso wie der Viskosität des Seitenwandbereiches eines Durchgangsloches durch Induzieren einer Vernetzungsreaktion an der Oberfläche des Isolationsfilmes ebenso wie an dem Seitenwandbereich des Durchgangsloches angewandt wird, wird ein  $t_{\text{max}}$ -Bereich des Isolationsfilmes 704 ebenfalls sehr viskos, wodurch verursacht wird, daß jegliche Spannungen in dem Isolationsfilm 704 auf die darunter liegenden Leitungen 703a und 703c übertragen werden.

Wenn es gewünscht ist, die Übertragung der Spannung von dem Isolationsfilm 704 auf die darunter liegenden Leitungen 703a und 703c zu verhindern, sollte die

maximale Filmdicke  $t_{\text{max}}$  des Isolationsfilmes 704 bevorzugt so eingestellt werden, daß die Gleichung erfüllt wird:  $d_{\text{max}} \leq 0,1 t_{\text{max}}$ , worin  $d_{\text{max}}$  die maximale Entfernung von der Oberfläche des Isolationsfilmes 704 oder von der Seitenwand des Durchgangsloches 706 zu dem Bereich der hohen Viskosität des Isolationsfilmes 704 bedeutet.

Diese maximale Entfernung " $d_{\text{max}}$ " von der Oberfläche der Isolationsfilmes 704 oder von der Seitenwand des Durchgangsloches 706 zu dem Bereich der hohen Viskosität des Isolationsfilm 704 sollte im Hinblick auf den minimalen Wert, der zur Verhinderung der Deformation des Isolationsfilmes 704 und jeglicher Schädigung durch das Plasma erforderlich ist, und im Hinblick auf den Wert, bei dem die Wirkungen zur Verhinderung der oben erwähnten Deformation und Schädigung gesättigt sind bevorzugt etwa  $10 \text{ nm} \leq d_{\text{max}} \leq 100 \text{ nm}$  sein.

Als Mittel zum Schaffen einer Oberflächenschicht mit einer Viskosität auf dem Isolationsfilm (einem ersten Isolationsfilm) mit einer niedrigen Viskosität, kann ein getrennter Isolationsfilm (ein zweiter Isolationsfilm) mit einer hohen Viskosität anstelle der Erhöhung der Viskosität der Oberflächenschicht des Isolationsfilm 704 gebildet werden.

In diesem Fall muß die Filmdicke des zweiten Isolationsfilmes nicht durch das oben erwähnte " $d_{\text{max}}$ " begrenzt sein, sondern kann wahlweise nach Erfordernis in Abhängigkeit von der Qualität des zweiten Isolationsfilmes und dem Layout der Halbleitervorrichtung geändert werden.

Die Bildung des zweiten Isolationsfilmes sollte bevorzugt nach der Bildung des ersten Isolationsfilmes und vor der Bildung des Durchgangsloches durchgeführt werden. Die Bildung des zweiten Isolationsfilmes kann nach dem Schritt der Bildung des Durchgangsloches durchgeführt werden, aber in diesem Fall kann der zweite Isolationsfilm möglicherweise ebenfalls an der Bodenfläche des Durchgangsloches gebildet werden. Wenn die Filmdicke des zweiten Isolationsfilmes, der an der Bodenfläche des Durchgangsloches gebildet werden soll, groß ist, kann ein Schritt der Wiedereröffnung des Durchgangsloches erforderlich sein.

Der Schritt der Bildung des zweiten Isolationsfilmes mit einer höheren Viskosität als die Viskosität des ersten Isolationsfilmes kann unter Anwendung eines Kondensations-CVD-Verfahrens, wie es bei diesem Beispiel angewandt wird, unter Verfahrensbedingungen durchgeführt werden, die die Erhöhung der Viskosität des Isolationsfilmes ermöglichen.

Spezifisch wird die Flußrate von Sauerstoffgas bezüglich der Flußrate eines organischen Silangases kleiner gemacht, oder der Entladungsausstoß zum Erzeugen von Sauerstoffgas-Radikalen wird erhöht, wodurch der Polymerisationsgrad des Polymerisationsreaktionsproduktes zwischen dem organischen Silan und Sauerstoffgas-Radikalen erhöht wird.

Das Verfahren zur Bildung des zweiten Isolationsfilmes kann ebenfalls durch Anwendung des Tetraethoxysilan (TEOS)-Ozon-Verfahrens oder des Polymerisationsverfahrens eines organischen Materials zur Bildung eines Polymerfilmes durchgeführt werden.

Der Schritt der Bildung des zweiten Isolationsfilmes nach der Bildung des ersten Isolationsfilmes sollte vorzugsweise kontinuierlich ohne Abbruch des Vakuumzustandes durchgeführt werden. Wenn ein Substrat, das den ersten Isolationsfilm darauf trägt, einmal unmittelbar nach dem Niederschlag davon der Luftatmosphäre

ausgesetzt wird, ist die Oberfläche des ersten Isolationsfilmes, der noch eine niedrige Viskosität hat, anfällig für die Adsorption von feinen Teilchen und Wasser, was möglicherweise für die Qualität des Isolationsfilmes ebenso wie der Leitung, die auf dem ersten Isolationsfilm gebildet wird, nachteilig ist.

Weiterhin sollte der Schritt der Bildung des zweiten Isolationsfilmes nach der Bildung des ersten Isolationsfilmes bevorzugt in dem gleichen Vakuumbehälter durchgeführt werden, um die Deformation des Isolationsfilmes während des Transfers davon zu verhindern und jegliche Adsorption von Stäuben im Inneren der Anlage zu verhindern.

Eine Behandlung für die Erhöhung der Viskosität der Oberflächenschicht des ersten Isolationsfilmes (Isolationsfilm 704) kann nach der Bildung des ersten Isolationsfilmes und vor dem Schritt der Bildung des zweiten Isolationsfilmes durchgeführt werden.

In diesem Beispiel wurde ein Kondensations-CVD-Verfahren für die Bildung eines Isolationsfilmes angewandt. Jedoch ist diese Erfindung ebenfalls für ein anderes Verfahren zur Bildung eines Isolationsfilmes mit niedriger Viskosität anwendbar. Die Eigenschaften wie eine niedrige Dielektrizitätskonstante, niedrige Hygroskopizität und niedrige Viskosität, die für den Isolationsfilm erforderlich sind, basieren auf den Erfordernissen wie eine Hochgeschwindigkeitsantwort, thermische Spannung und Stufenbedeckung, die für einen Schaltkreis erforderlich sind.

Insbesondere muß als Gegenmaßnahme für die Probleme der Stufenbedeckung, thermischen Spannung und Oberflächenflachheit ein Isolationsfilm mit niedriger Viskosität auf der oberen Fläche eines Substrates gebildet werden. Ein Ziel dieser Erfindung liegt darin, die Resistenz des Isolationsfilmes gegen Schädigung zu verbessern und die Bearbeitungsgenauigkeit des Isolationsfilmes zu verbessern, während die niedrige Dielektrizitätskonstante, niedrige Hygroskopizität und niedrige Viskosität (Innenbereich) des Filmes beibehalten werden, die für den Isolationsfilm erforderlich sind, wobei das oben erwähnte Ziel durch Bildung eines Isolationsfilmes erzielt wird, der eine niedrige Viskosität hat, mit der Ausnahme der Oberflächenschicht davon, die eine hohe Viskosität aufweist.

Diese Erfindung ist nicht auf die oben erwähnten Beispiele beschränkt. Z.B. wurde diese Erfindung unter Bezugnahme auf einen Zwischenschicht-Isolationsfilm in den oben erwähnten Beispielen erläutert. Jedoch ist diese Erfindung ebenfalls für einen Schutz-Isolationsfilm (Passivierungsfilm) anwendbar.

Wenn eine große Fläche eines Passivierungsfilmes 805 dieser Erfindung in der Nähe der Peripherie einer Bindungsanschlußfläche oder der Nähe der peripheren Schaltung angeordnet ist, wie in den Fig. 11A und 11B gezeigt, sollte eine Blindschaltssäule 806 zuvor bei der Bildung einer Leitung 803 durch Bildung eines Musters aus einem Al-Legierungsfilm gebildet werden. Der Passivierungsfilm 805 kann auf gleiche Weise wie der Zwischenschicht-Isolationsfilm 204 gebildet werden.

Die Blindschaltssäule 806 kann unter Verwendung eines Filmes aus einem Isolationsmaterial gebildet werden, das von dem oben erwähnten Siliciumdioxid-Film 804 verschieden ist, wie ein Plasma-CVD-Siliciumdioxid-Film oder ein Siliciumnitrid-Film. Wenn ein Film aus diesen Materialien verwendet wird, kann das Problem vermieden werden, daß der Passivierungsfilm 805 aufgrund des auf die Leitung 803 während eines Bindungsschrittes auferlegten Druckes deformiert werden kann.

In den Fig. 11A und 11B bedeutet das Bezugszeichen 801 ein Silicium-Substrat und das Bezugszeichen 807 ein Kontaktloch (Durchgangsloch).

Nahezu die gleiche Wirkung kann durch thermisches Härten der Oberfläche des Passivierungsfilmes 805 bei einer niedrigen Temperatur von 300°C oder weniger anstelle der Bildung der Blindschaltssäule 806 erhalten werden.

Wie oben erläutert ist es entsprechend dieser Erfindung möglich, einen Isolationsfilm zu schaffen, der innerhalb eines feinen Bereiches verborgen werden kann, während eine ausgezeichnete Form davon behalten wird.

#### Patentansprüche

1. Halbleitervorrichtung, gekennzeichnet durch ein Substrat (201) und zumindest einen von einem Zwischenschicht-Isolationsfilm (204) und einem Passivierungs-Isolationsfilm, wobei jeder auf dem Substrat (201) gebildet ist und Silicium, Sauerstoff, Kohlenstoff und Wasserstoff enthält, wobei der Gehalt an Kohlenstoff nicht geringer ist als der Gehalt an Silicium.

2. Halbleitervorrichtung nach Anspruch 1, worin der Isolationsfilm eine Dielektrizitätskonstante von 1,8 bis 3,2 hat.

3. Halbleitervorrichtung nach Anspruch 2, worin der Isolationsfilm eine Dielektrizitätskonstante von 1,8 bis 2,5 hat.

4. Halbleitervorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 3, worin der Isolationsfilm eine Rückgratkette mit einer Struktur aufweist, ausgewählt aus der Gruppe, bestehend aus den folgenden Formeln (1) bis (5):



worin  $R_1$   $C_nH_{2n+1}$  ist (worin  $n$  eine positive ganze Zahl ist);



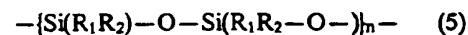
worin  $R_1$   $-O-C_nH_{2n+1}$  ist (worin  $n$  eine positive ganze Zahl ist);



worin  $R_1$   $C_nH_{2n+1}$  ist (worin  $n$  eine positive ganze Zahl ist), und  $R_2$   $C_mH_{2m+1}$  sind (worin  $m$  eine positive ganze Zahl ist), worin  $n$  von  $m$  verschieden ist;



worin  $R_1$   $-O-C_nH_{2n+1}$  ist (worin  $n$  eine positive ganze Zahl ist) und  $R_2$  ist  $-O-C_mH_{2m+1}$  sind (worin  $m$  eine positive ganze Zahl ist), worin  $n$  von  $m$  verschieden ist; und



worin  $R_1$   $-O-C_nH_{2n+1}$  oder  $C_nH_{2n+1}$  ist (worin  $n$  eine positive ganze Zahl ist);  $R_2$   $-O-C_mH_{2m+1}$  oder  $C_mH_{2m+1}$  ist (worin  $m$  eine positive ganze Zahl ist);  $n$  von  $m$  verschieden ist; und worin zumindest eines von  $R_1$  und  $R_2$  über  $-O-$  mit  $R_1$  oder  $R_2$  verbunden ist, das zu der anderen Rückgratkette gehört.

5. Halbleitervorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 4, worin eine Schaltsäule, bestehend aus einem metallischen Material oder einem Isolationsmaterial, die gegenüber einer Deformation des Isolationsfilmes resistent ist, in dem Isolationsfilm verborgen ist. 5

5. Halbleitervorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 5, worin eine Oberflächenschicht des Isolationsfilmes eine höhere Viskosität als der Rest des Isolationsfilmes aufweist. 10

7. Halbleitervorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 6, wobei der Isolationsfilm inert ist und nicht in der Lage ist, Wasser bei einer Temperatur von nicht mehr als 650° C freizusetzen.

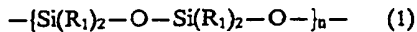
8. Halbleitervorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 7, worin ein Atomverhältnis von Kohlenstoff zu Silicium in dem Isolationsfilm 1,0 bis 3,0 ist. 15

9. Halbleitervorrichtung, gekennzeichnet durch ein Substrat (201) und zumindest einem von einem Zwischenschicht-Isolationsfilm (204) und einem Passivierungs-Isolationsfilm, die jeweils auf dem Substrat (201) gebildet sind, umfassend Silicium, Sauerstoff, Kohlenstoff und Wasserstoff und der bei Raumtemperatur viskos ist, wobei er eine Viskosität von 100 cps bis 300 000 cps bei Raumtemperatur hat. 25

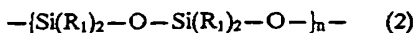
10. Halbleitervorrichtung nach Anspruch 9, worin der Isolationsfilm eine Dielektrizitätskonstante von 1,8 bis 3,2 hat.

11. Halbleitervorrichtung nach Anspruch 10, worin der Isolationsfilm eine Dielektrizitätskonstante von 1,8 bis 2,5 hat. 30

12. Halbleitervorrichtung nach einem der Ansprüche 9 bis 11, worin der Isolationsfilm eine Rückgratkette mit einer Struktur aufweist, ausgewählt aus der Gruppe, bestehend aus den folgenden Formeln (1) bis (5): 35



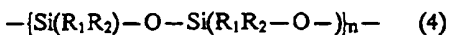
worin  $R_1$   $C_nH_{2n+1}$  ist (worin  $n$  eine positive ganze Zahl ist); 40



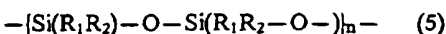
worin  $R_1$   $O-C_nH_{2n+1}$  ist (worin  $n$  eine positive ganze Zahl ist); 45



worin  $R_1$   $C_nH_{2n+1}$  ist (worin  $n$  eine positive ganze Zahl ist), und  $R_2$   $C_mH_{2m+1}$  sind (worin  $m$  eine positive ganze Zahl ist), worin  $n$  von  $m$  verschieden ist; 50



worin  $R_1$   $-O-C_nH_{2n+1}$  ist (worin  $n$  eine positive ganze Zahl ist) und  $R_2$  ist  $O-C_mH_{2m+1}$  sind (worin  $m$  eine positive ganze Zahl ist), worin  $n$  von  $m$  verschieden ist; und 60



worin  $R_1O$   $-C_nH_{2n+1}$  oder  $C_nH_{2n+1}$  ist (worin  $n$  eine positive ganze Zahl ist);  $R_2$   $-O-C_mH_{2m+1}$  oder  $C_mH_{2m+1}$  ist (worin  $m$  eine positive ganze Zahl ist);  $n$  von  $m$  verschieden ist; und worin zumindest eines von  $R_1$  und  $R_2$  über  $-O-$  mit  $R_1$  oder  $R_2$  65

verbunden ist, das zu der anderen Rückgratkette gehört.

13. Halbleitervorrichtung nach einem der Ansprüche 9 bis 12, worin eine Schaltsäule, bestehend aus einem metallischen Material oder einem Isolationsmaterial, die gegenüber einer Deformation des Isolationsfilmes resistent ist, in dem Isolationsfilm verborgen ist.

14. Halbleitervorrichtung nach einem der Ansprüche 9 bis 13, worin eine Oberflächenschicht des Isolationsfilmes eine höhere Viskosität als der Rest des Isolationsfilmes aufweist.

15. Halbleitervorrichtung nach einem der Ansprüche 9 bis 14, worin der Isolationsfilm inert ist und nicht in der Lage ist, Wasser bei einer Temperatur von nicht mehr als 650° C freizusetzen.

16. Halbleitervorrichtung nach einem der Ansprüche 9 bis 15, worin ein Atomverhältnis von Kohlenstoff zu Silicium in dem Isolationsfilm 1,0 bis 3,0 ist.

17. Halbleitervorrichtung, umfassend ein Halbleitersubstrat, das ein Element trägt,

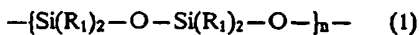
einen ersten Isolationsfilm, der auf dem Halbleitersubstrat gebildet ist, eine Vielzahl von Leitungen, wobei zumindest eine der Leitungen elektrisch mit dem Element durch ein Kontaktloch verbunden ist; einen zweiten Isolationsfilm, der auf den Leitungen und auf dem ersten Isolationsfilm gebildet ist, wo die Leitungen nicht gebildet sind und Silicium, Sauerstoff, Kohlenstoff und Wasserstoff enthält, wobei der Gehalt an Kohlenstoff nicht geringer ist als der Gehalt an Silicium; und

einen dritten Isolationsfilm, der auf dem zweiten Isolationsfilm gebildet und aus einem Material hergestellt ist, das sich von dem Material unterscheidet, das den zweiten Isolationsfilm ausmacht.

18. Halbleitervorrichtung nach Anspruch 17, worin der Isolationsfilm eine Dielektrizitätskonstante von 1,8 bis 3,2 hat.

19. Halbleitervorrichtung nach Anspruch 18, worin der Isolationsfilm eine Dielektrizitätskonstante von 1,8 bis 2,5 hat.

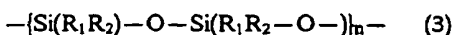
20. Halbleitervorrichtung nach einem der Ansprüche 17 bis 19, worin der Isolationsfilm eine Rückgratkette mit einer Struktur aufweist, ausgewählt aus der Gruppe, bestehend aus den folgenden Formeln (1) bis (5):



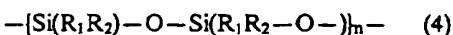
worin  $R_1$   $C_nH_{2n+1}$  ist (worin  $n$  eine positive ganze Zahl ist);



worin  $R_1$   $-O-C_nH_{2n+1}$  ist (worin  $n$  eine positive ganze Zahl ist);

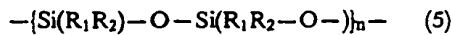


worin  $R_1$   $C_nH_{2n+1}$  ist (worin  $n$  eine positive ganze Zahl ist), und  $R_2$   $C_mH_{2m+1}$  sind (worin  $m$  eine positive ganze Zahl ist), worin  $n$  von  $m$  verschieden ist;



worin  $R_1$   $-O-C_nH_{2n+1}$  ist (worin  $n$  eine positive ganze Zahl ist) und  $R_2$  ist  $-O-C_mH_{2m+1}$  sind (worin  $m$  eine positive ganze Zahl ist), worin  $n$  von  $m$

verschieden ist; und



worin  $R_1O-C_nH_{2n+1}$  oder  $C_nH_{2n+1}$  ist (worin n eine positive ganze Zahl ist);  $R_2O-C_mH_{2m+1}$  oder  $C_mH_{2m+1}$  ist (worin m eine positive ganze Zahl ist); n von m verschieden ist; und worin zumindest eines von  $R_1$  und  $R_2$  über  $-O-$  mit  $R_1$  oder  $R_2$  verbunden ist, das zu der anderen Rückgratkette gehört.

21. Halbleitervorrichtung nach einem der Ansprüche 17 bis 20, worin eine Schaltsäule, bestehend aus einem metallischen Material oder einem Isolationsmaterial, die gegenüber einer Deformation des Isolationsfilmes resistent ist, in dem Isolationsfilm verborgen ist.

22. Halbleitervorrichtung nach einem der Ansprüche 17 bis 21, worin eine Oberflächenschicht des Isolationsfilmes eine höhere Viskosität als der Rest des Isolationsfilmes aufweist.

23. Halbleitervorrichtung nach einem der Ansprüche 17 bis 22, worin der Isolationsfilm inert ist und nicht in der Lage ist, Wasser bei einer Temperatur von nicht mehr als 650°C freizusetzen.

24. Halbleitervorrichtung nach einem der Ansprüche 17 bis 23, worin ein Atomverhältnis von Kohlenstoff zu Silicium in dem Isolationsfilm 1,0 bis 3,0 ist.

25. Halbleitervorrichtung nach einem der Ansprüche 17 bis 24, worin der zweite Isolationsfilm bei Raumtemperatur viskos ist, wobei er bei Raumtemperatur eine Viskosität von 100 bis 300 000 cps hat.

26. Halbleitervorrichtung nach einem der Ansprüche 17 bis 25, worin eine Filmdicke des dritten Isolationsfilmes, die auf einer oberen Fläche des zweiten Isolationsfilmes gebildet ist, dünner ist als eine Filmdicke des dritten Isolationsfilmes, der auf einer oberen Fläche des ersten Isolationsfilmes gebildet ist, der zwischen den Leitungen angeordnet ist.

27. Halbleitervorrichtung nach einem der Ansprüche 17 bis 26, worin der erste Isolationsfilm und der zweite Isolationsfilm aus einem Siliciumdioxid-Film gebildet sind.

28. Halbleitervorrichtung, gekennzeichnet durch ein Halbleitersubstrat;

einen ersten leitenden Film der auf dem Halbleitersubstrat gebildet ist;

einen Isolationsfilm, der mit einem Kontaktloch versehen und so gebildet ist, daß der erste leitende Film bedeckt ist; und

einen zweiten leitenden Film, der auf dem Isolationsfilm derart gebildet ist, daß er mit dem ersten leitenden Film durch das Kontaktloch elektrisch kontaktiert ist;

worin ein Bereich des Isolationsfilmes, der in der Nähe einer Grenzfläche davon mit dem zweiten leitenden Film vorgesehen ist, ohne einen Bereich, der an dem Kontaktloch vorgesehen ist, so aufgebaut ist, daß er eine Viskosität von 10 000 cp oder mehr hat und der Rest des Isolationsfilmes ohne den Bereich, der in der Nähe der Grenzfläche davon mit dem zweiten leitenden Film angeordnet ist, so konstruiert ist, daß er eine Viskosität von weniger als 10 000 cp hat.

29. Halbleitervorrichtung nach Anspruch 28, worin ein Bereich des Isolationsfilmes, der in der Nähe einer Grenzfläche davon mit einem Bereich des zweiten leitenden Filmes angeordnet ist, der an der

Seitenwand des Kontaktloches lokalisiert ist, so konstruiert ist, daß er eine Viskosität von 10 000 cp oder mehr hat.

30. Halbleitervorrichtung nach Anspruch 28 oder 29, worin ein Bereich des Isolationsfilmes, der in der Nähe einer Grenzfläche davon mit einem Bereich des zweiten leitenden Filmes angeordnet ist, der an einer Seitenwand des Kontaktloches lokalisiert ist, so konstruiert ist, daß die Gleichung erfüllt ist:  $d_{\max} \leq 0,1 t_{\max}$ , worin  $t_{\max}$  eine maximale Filmdicke des Isolationsfilmes ist, und  $d_{\max}$  eine maximale Entfernung von der Grenzfläche davon mit dem zweiten leitenden Film zu dem Bereich des Isolationsfilmes bedeutet, der in der Nähe der Grenzfläche angeordnet ist.

31. Halbleitervorrichtung nach Anspruch 28, worin ein Bereich des Isolationsfilmes, der in der Nähe einer Grenzfläche davon mit einem Bereich des zweiten leitenden Filmes, der an einer Seitenwand des Kontaktloches lokalisiert ist, vorgesehen ist, so konstruiert ist, daß die Gleichung erfüllt ist:  $10 \text{ nm} \leq d_{\max} \leq 100 \text{ nm}$ , worin  $d_{\max}$  eine maximale Entfernung von der Grenzfläche davon mit dem zweiten leitenden Film zu dem Bereich des Isolationsfilmes ist, der in der Nähe der Grenzfläche angeordnet ist.

32. Verfahren zur Herstellung einer Halbleitervorrichtung, umfassend die folgenden Schritte:

Bildung eines ersten Isolationsfilmes auf einem Halbleitersubstrat, das ein Element darauf trägt;

Bildung eines Kontaktloches in dem ersten Isolationsfilm;

Bildung einer Vielzahl von Leitungen auf dem ersten Isolationsfilm, worin zumindest eine der Vielzahl von Leitungen über das Kontaktloch mit dem Element elektrisch kontaktiert ist;

Bildung eines zweiten Isolationsfilmes auf dem ersten Isolationsfilm, wo die Leitungen nicht gebildet sind, auf eine solche Weise, daß ein Raum zwischen den Leitungen verborgen wird, wobei der zweite Isolationsfilm Silicium, Sauerstoff, Kohlenstoff und Wasserstoff enthält, wobei der Gehalt an Kohlenstoff nicht geringer als der Gehalt an Silicium ist; und

Bildung eines dritten Isolationsfilmes auf der Leitung und auf dem zweiten Isolationsfilm, wobei der dritte Isolationsfilm aus einem Material gebildet wird, das sich von dem Material unterscheidet, das den zweiten Isolationsfilm ausmacht.

33. Verfahren nach Anspruch 32, worin der Schritt der Bildung des zweiten Isolationsfilmes durch ein CVD-Verfahren durchgeführt wird, wobei als Ausgangsmaterialien ein organisches Silan und Sauerstoff im angeregten Zustand verwendet werden und eine Substrat-Temperatur auf  $-70$  bis  $50^\circ\text{C}$  eingestellt wird.

34. Verfahren zur Herstellung einer Halbleitervorrichtung, umfassend die folgenden Schritte:

Bildung eines ersten leitenden Filmes auf einem Substrat;

Bildung eines Isolationsfilmes mit einer Viskosität von weniger als 10 000 cp, um dadurch den ersten leitenden Film zu bedecken;

Durchführung einer Viskositätssteigerungsbehandlung, um dadurch die Viskosität einer Oberflächenschicht des Isolationsfilmes auf nicht weniger als 10 000 cp zu erhöhen; und

Bildung eines zweiten leitenden Filmes auf dem



Isolationsfilm auf solche Weise, daß er mit dem ersten leitenden Film elektrisch in Kontakt steht.

35. Verfahren nach Anspruch 34, worin der Schritt der Erhöhung der Viskosität einer Oberflächenschicht des Isolationsfilmes auf nicht weniger als 10 000 cp durch Behandeln des Isolationsfilmes mit einem Plasma aus einem Gas durchgeführt wird, umfassend zumindest ein Molekül, das Sauerstoffatome enthält.

36. Verfahren nach Anspruch 34, worin der Schritt der Erhöhung der Viskosität einer Oberflächenschicht des Isolationsfilmes auf nicht weniger als 10 000 cp durch Behandeln des Isolationsfilmes mit einem Gas durchgeführt wird, umfassend Sauerstoff-Radikale, Ozon oder Wasserstoff-Radikale.

37. Verfahren nach Anspruch 34, worin der Schritt der Erhöhung der Viskosität einer Oberflächenschicht des Isolationsfilmes auf nicht weniger als 10 000 cp durch Bestrahlen des Isolationsfilmes mit einer Infrarot-Strahlenquelle mit einer Wellenlänge von 2,6 bis 3,3  $\mu\text{m}$  durchgeführt wird.

38. Verfahren nach Anspruch 34, worin der Schritt der Erhöhung der Viskosität einer Oberflächenschicht des Isolationsfilmes auf nicht weniger als 10 000 cp durch Bestrahlen des Isolationsfilmes mit einer Ultraviolett-Strahlenquelle mit einer Wellenlänge von 142 bis 308 nm durchgeführt wird.

39. Verfahren nach Anspruch 34, worin der Schritt der Erhöhung der Viskosität einer Oberflächenschicht des Isolationsfilmes auf nicht weniger als 10 000 cp durch Behandeln des Isolationsfilmes mit einer Mikrowelle in einer Atmosphäre aus einem Gas, umfassend zumindest ein Molekül, das Sauerstoffatom enthält; einer Atmosphäre aus einem Inertgas oder einer Atmosphäre mit vermindertem Druck durchgeführt wird.

40. Verfahren nach Anspruch 34, worin der Schritt der Erhöhung einer Viskosität einer Oberflächenschicht des Isolationsfilmes auf nicht weniger als 10 000 cp durch Erwärmen des Substrates, das den Isolationsfilm darauf trägt, bei einer Erwärmungsrate von 10°C/s und Halten der Erwärmungstemperatur auf 450°C oder weniger durchgeführt wird.

41. Verfahren nach Anspruch 34, worin der Schritt der Erhöhung der Viskosität einer Oberflächenschicht des Isolationsfilmes auf nicht weniger als 10 000 cp durch Erwärmen des Substrates, das den Isolationsfilm darauf trägt, bei einer Erwärmungsrate von 10°C/s durchgeführt wird, wodurch die Oberflächenschicht des Isolationsfilmes auf eine Temperatur im Bereich von 450 bis 700°C erwärmt wird.

42. Verfahren zur Herstellung einer Halbleitervorrichtung, umfassend die Schritte:

Bildung eines ersten leitenden Filmes auf einem Substrat,

Bildung eines Isolationsfilmes mit einer Viskosität von weniger als 10 000 cp, um dadurch den ersten leitenden Film zu bedecken;

Bildung eines zweiten Isolationsfilmes mit einer Viskosität von nicht weniger als 10 000 cp auf dem ersten Isolationsfilm; und

Bildung eines zweiten leitenden Filmes auf dem zweiten Isolationsfilm derart, daß er mit dem ersten leitenden Film elektrisch in Kontakt steht.

- Leerseite -

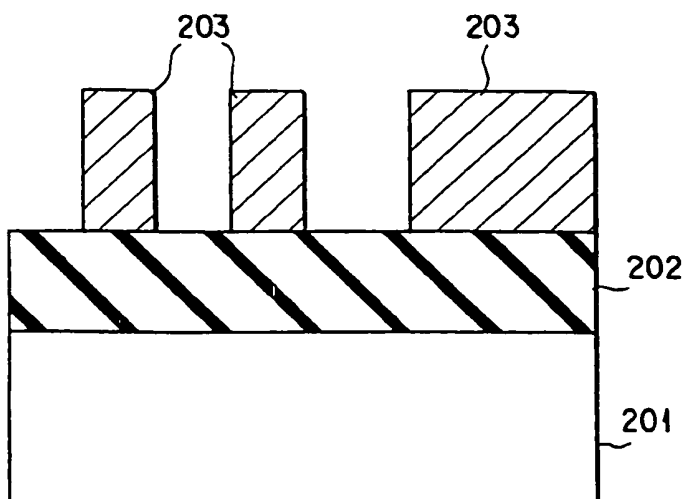


FIG. 3A

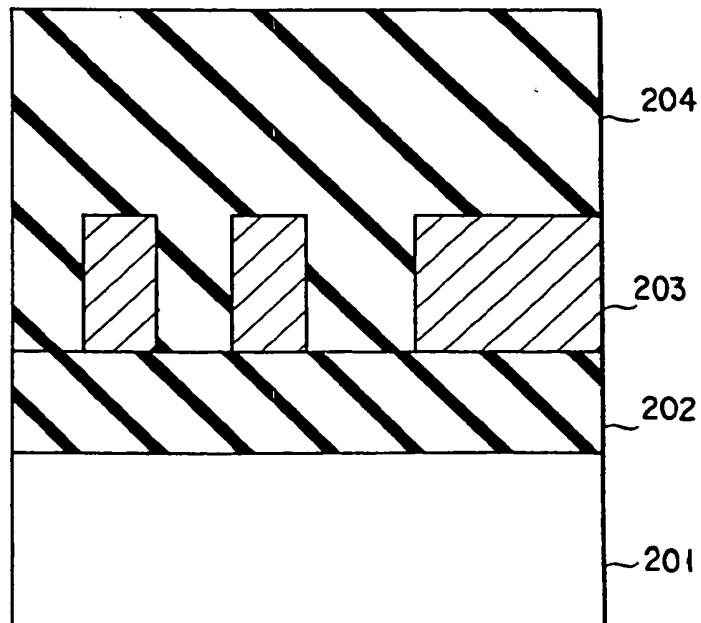


FIG. 3B \*

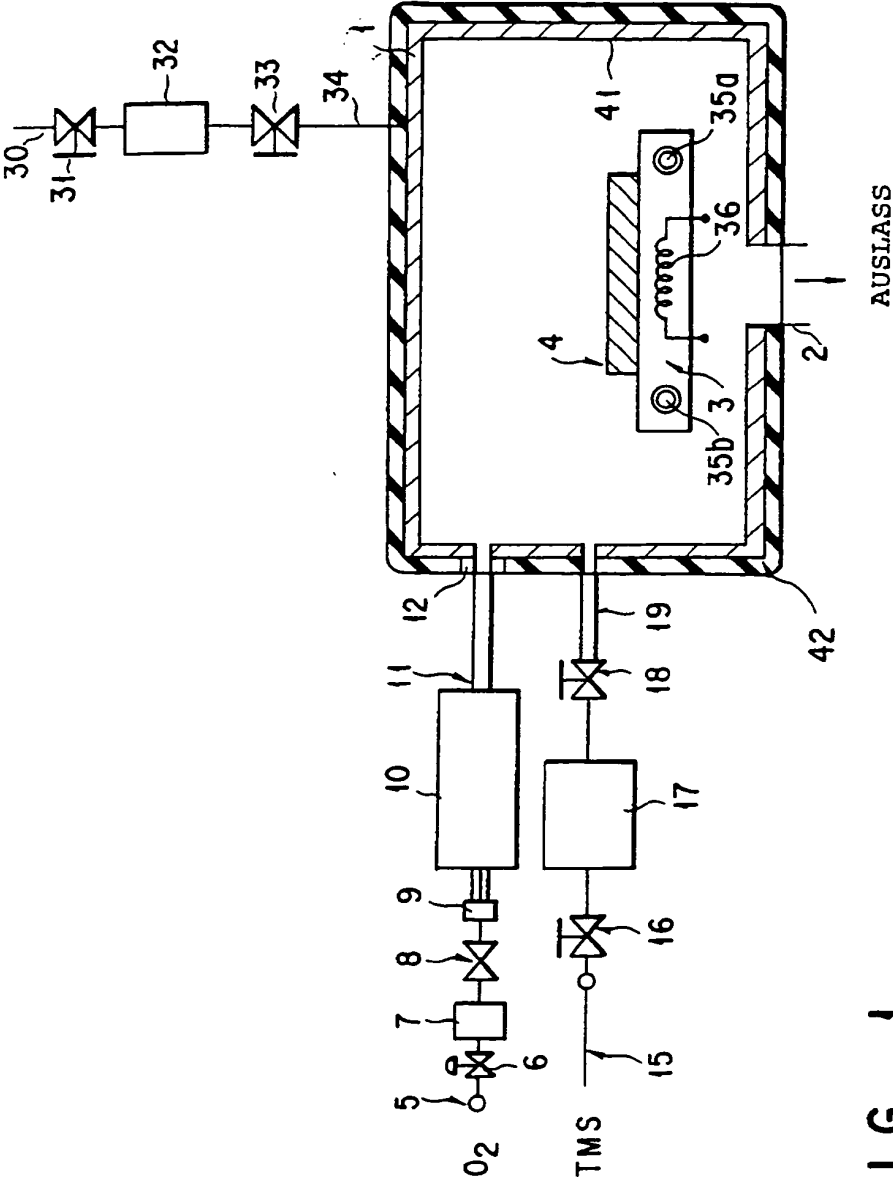


FIG. 1

Nummer:  
Int. Cl. 6:  
Offenl. gungstag:

DE 196 54 737 A1  
H 01 L 21/31  
3. Juli 1997

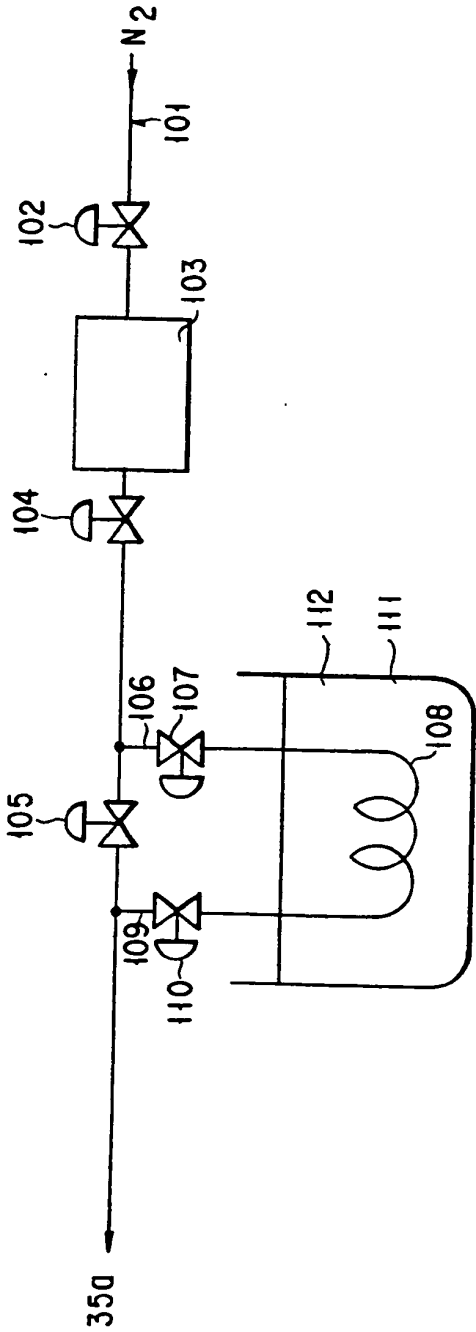


FIG. 2

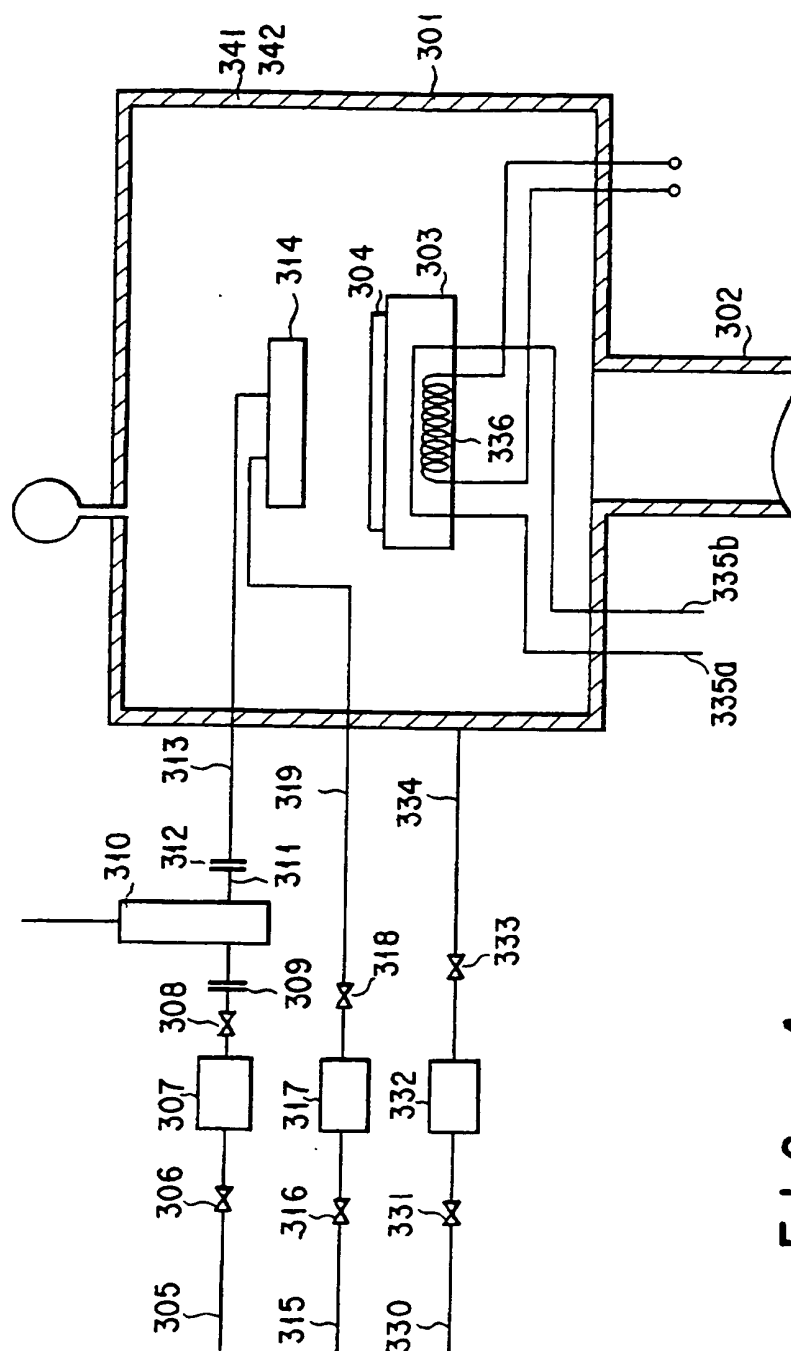


FIG. 4

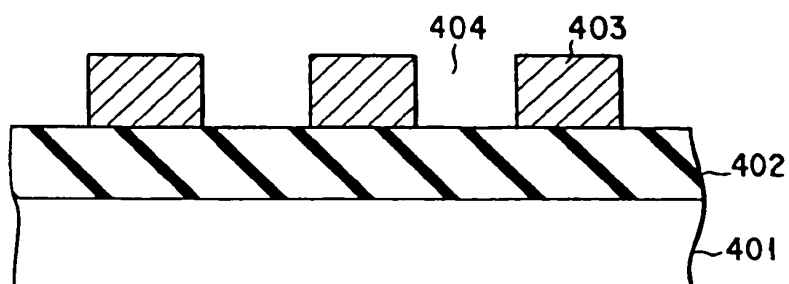


FIG. 5A

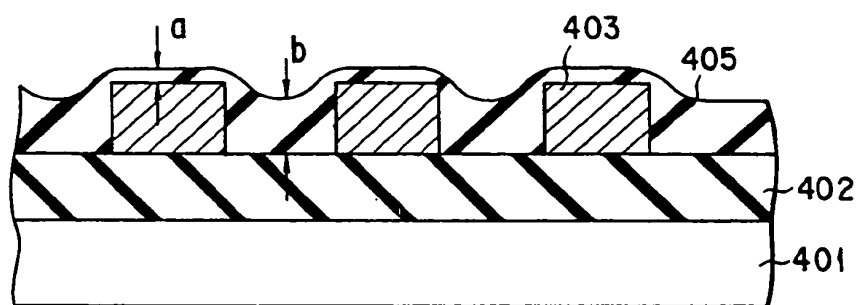


FIG. 5B

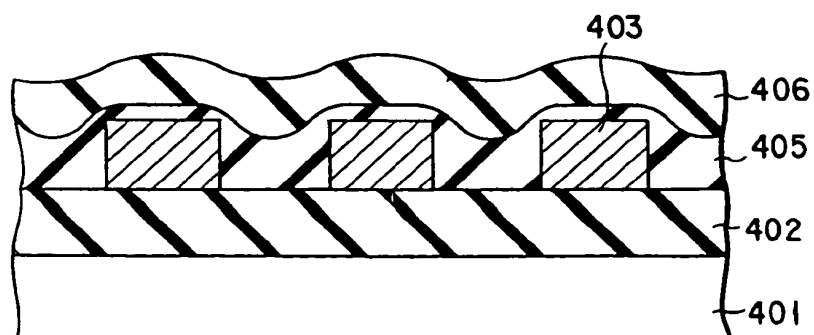
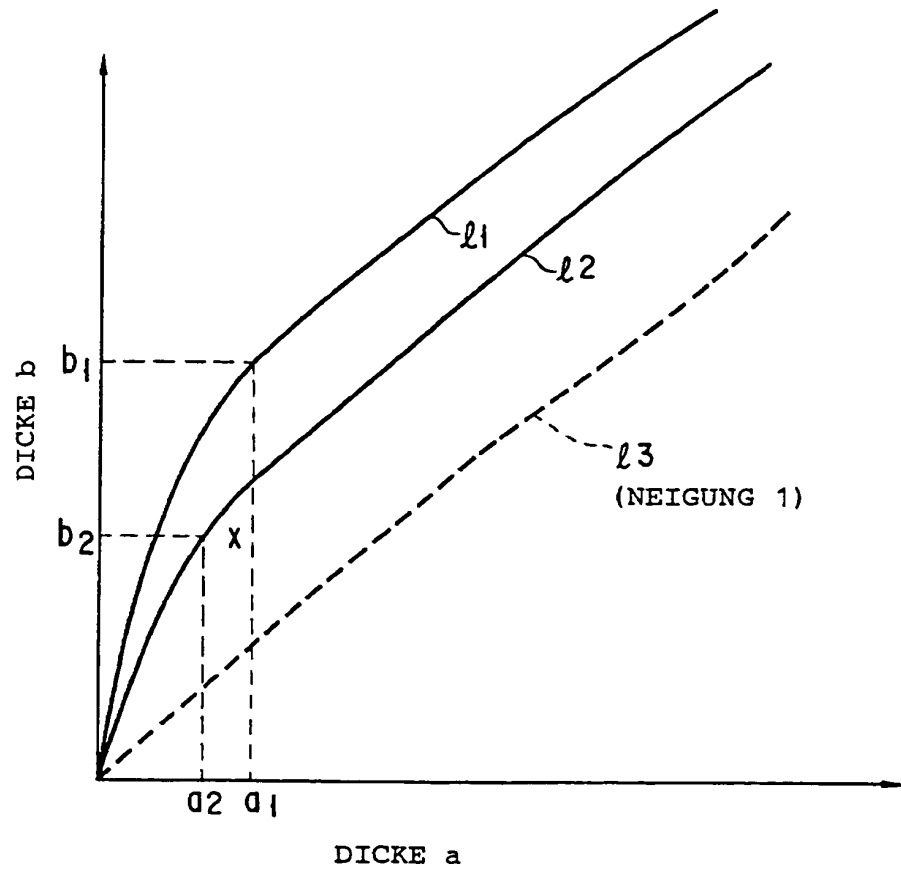


FIG. 5C





**FIG. 6**

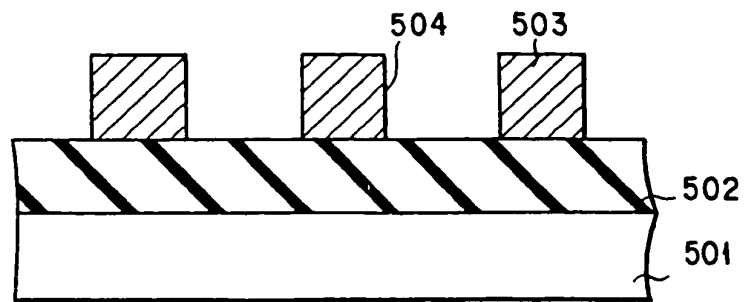


FIG. 7A

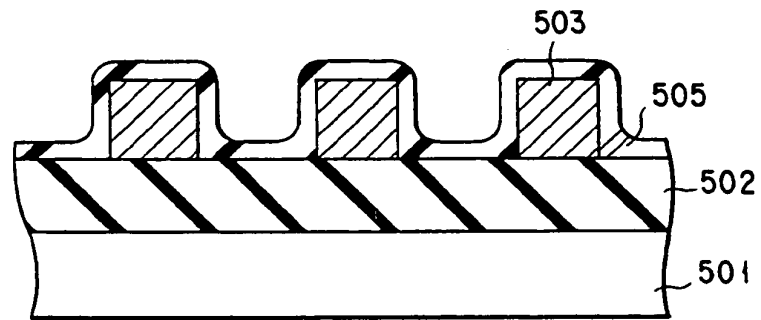


FIG. 7B

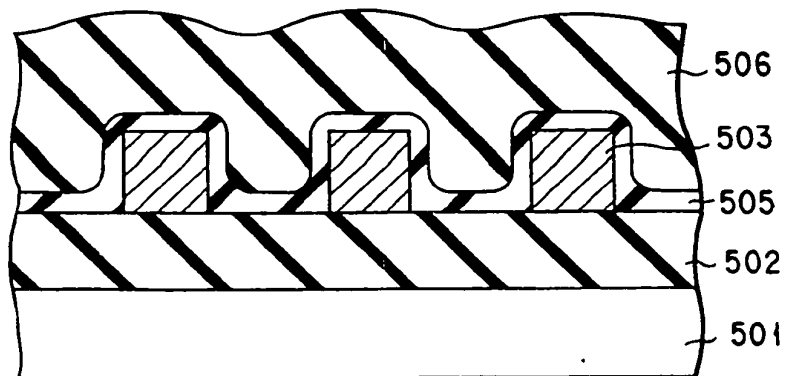


FIG. 7C

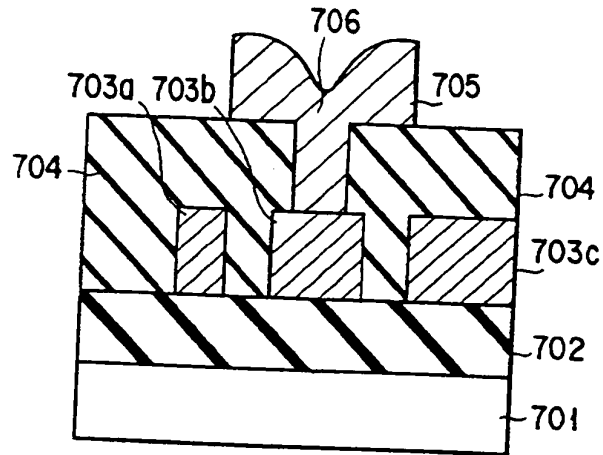


FIG. 8

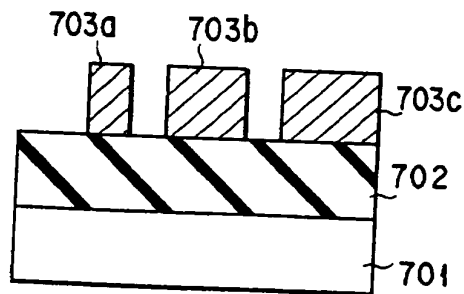


FIG. 10A

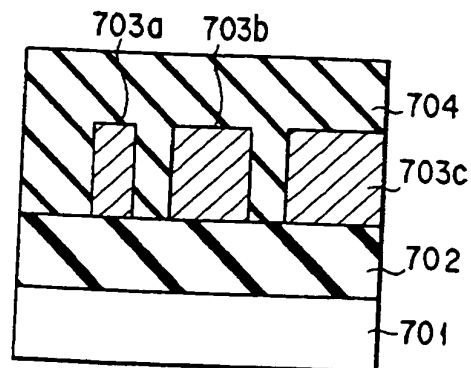


FIG. 10B

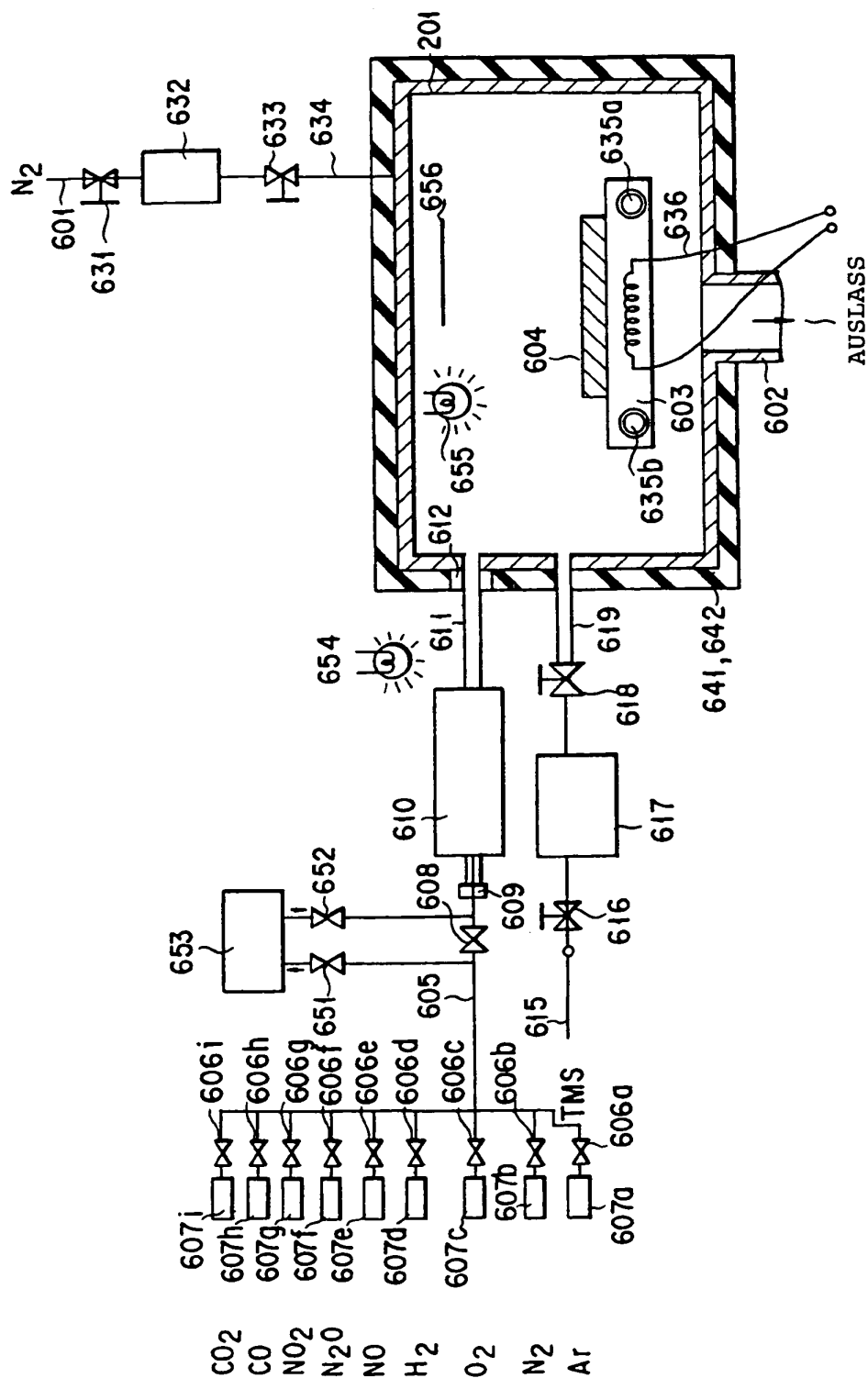


FIG. 9

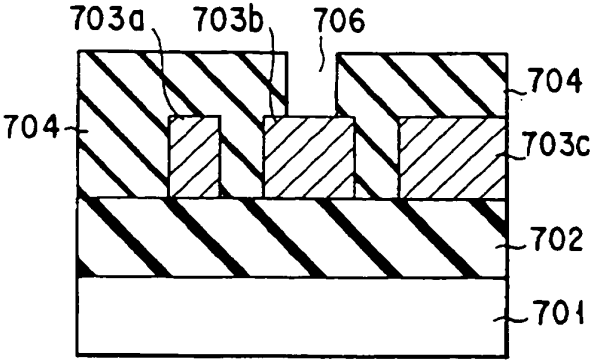


FIG. 10C

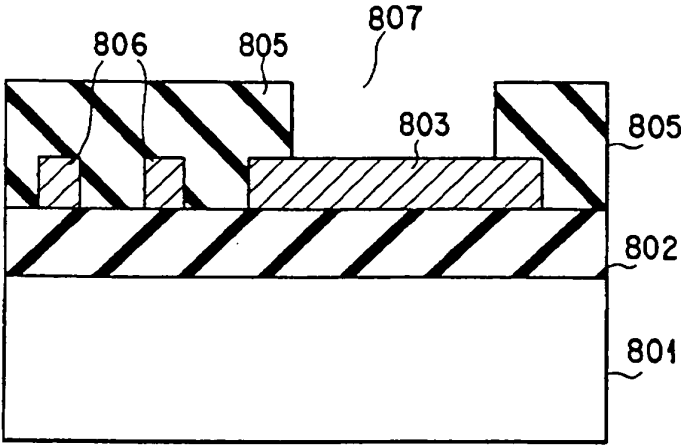


FIG. 11A

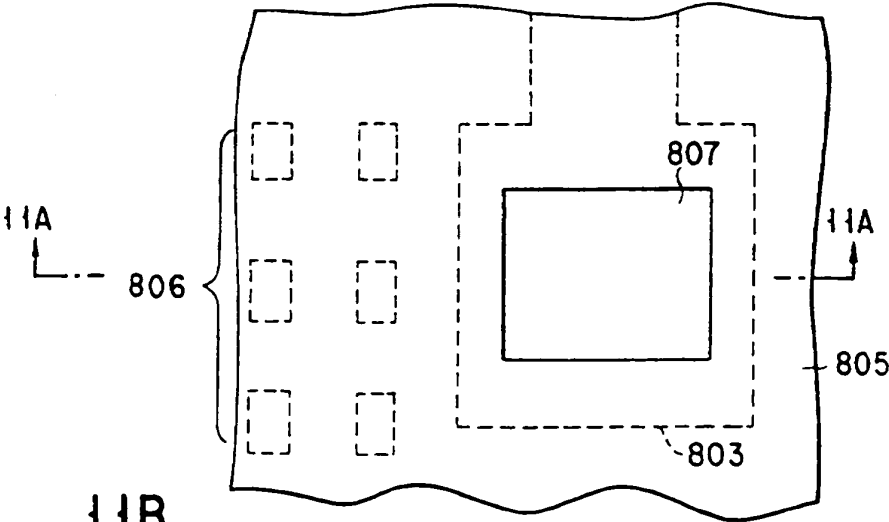


FIG. 11B